DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Dreizehnter Jahrgang | 15. Mai 1925 | Heft 20

Das Gesetz über die Temperaturskala und die Wärmeeinheit vom 7. August 1924.

Von F. Henning, Berlin.

1. *Gesetzliche Regelung physikalischer Messungen.* Es ist nicht das erstemal, daß physikalisch wichtige Größen in Deutschland durch die Gesetzgebung festgelegt werden. So sind durch Gesetze vom 17. August 1868 und 30. Mai 1908 die Raummaße und Gewichte geregelt worden. Damals löste das auf Meter und Kilogramm gegründete Maßsystem die alten Maße wie Fuß und Zoll, Morgen und Quadratrute, Scheffel und Metze, Unze und Lot mit ihren vielfach von Land zu Land wechselnden Größen überall im öffentlichen Verkehr ab, wenngleich auch diese tief eingewurzelten Maße noch heute nicht völlig aus dem privaten Gebrauch verschwunden sind. Der Sinn des Gesetzes war aber nicht nur, die Vieldeutigkeit der Maße und Gewichte zu beseitigen, sondern auch Einheiten zu schaffen, die den höchsten Anforderungen an Genauigkeit gewachsen waren. Die Erfüllung dieser Forderung ist durch die internationale Annahme der in Paris aufbewahrten Längen- und Masseneinheit (Meter und Kilogramm aus Platiniridium) gewährleistet. — Im Jahre 1898 wurden die elektrischen Einheiten Ohm, Ampere und Volt gesetzlich festgelegt. Sie finden seitdem ohne Ausnahme nicht nur in Deutschland Anwendung, sondern, nachdem die im deutschen Gesetz niedergelegten Definitionen international als bindend anerkannt wurden, überall, wo elektrische Messungen ausgeführt werden. Auf diesem historisch wenig belasteten und verhältnismäßig jungen Gebiet gelang die restlose Beseitigung der alten Maßgrößen ohne Schwierigkeiten.

2. *Notwendigkeit eines Gesetzes über die Temperaturskala und die Wärmeeinheit.* Verhältnismäßig spät und darum wieder unter Kämpfen gegen alte Gewohnheiten fand die Regelung der Temperaturmessung statt. Obwohl Wissenschaft, Technik und Schule sich seit langem nur der hundertteiligen Celsiusskala bedienen und seit dem Jahre 1905 Réaumur-Thermometer nicht mehr amtlich geprüft werden dürfen, ist genugsam bekannt, daß doch die achtzigteilige Skala, besonders im häuslichen Gebrauch, noch vielfach verwendet wird. Geradezu gefahrvoll aber kann sich die *gleichzeitige* Benutzung beider Skalen bei Verwechslungen auswirken, wie es gelegentlich in der Gesundheitspflege vorgekommen ist, wo die Körpertemperatur stets nach Celsius, aber die Temperatur eines Bades oft nach Réaumurgraden angegeben wurde.

Die Verwendung der zwei Skalen ist in keiner Weise sachlich zu begründen. Neben den genannten Nachteilen wird durch ihr Vorhandensein auch der Verkaufspreis der Thermometer erhöht, da jeder Händler wegen der verschiedenartigen Teilungen einen viel größeren Vorrat an Thermometern haben muß, als wenn nur *eine* Teilung möglich wäre.

Die gesetzliche Regelung durfte sich aber nicht nur darauf beschränken, eine dieser beiden Skalen aus dem Verkehr auszuscheiden, sondern sie mußte zugleich eine Temperaturskala schaffen, die allen Ansprüchen an Genauigkeit genügt, und mußte außerdem, den Wünschen des deutschen Verbandes technisch-wissenschaftlicher Vereine und des Normenausschusses der deutschen Industrie entsprechend, auch die Einheit der Wärmemenge festlegen. Temperatur- und Wärmemessungen hängen vielfach eng zusammen. Beide sind erforderlich, um Verträge aller Art, die sich auf Lieferung von Wärme beziehen, z. B. bei Sammelheizung von Wohnhäusern und bei Fernheizung von Bädern, kontrollieren und einhalten zu können. Nur durch Temperatur- und Wärmemessungen kann man die Güte thermischer Isolierstoffe, wie sie vielfach bei Rohrleitungen, bei Wohn- oder Kühlräumen Verwendung finden, feststellen. Auch der Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen kann ohne Temperatur- und Wärmemessungen nicht ermittelt werden.

3. *Wie ist eine einwandfreie Temperaturskala zu gewinnen?* Eine einwandfreie Temperaturskala gewinnt man nicht, wenn man bestimmt, daß auf der Skala eines Quecksilberthermometers das Intervall zwischen dem Eispunkt und dem Siedepunkt des Wassers in 100 gleiche Grade zu teilen ist und daß dieselbe Teilung über die Fixpunkte nach beiden Seiten ausgedehnt werden soll, weil zu gleichen Skalenteilen verschiedener Quecksilberthermometer je nach der verwendeten Glassorte verschiedene Temperaturen gehören. Der Grund hierfür liegt darin, daß die Ausdehnungskoeffizienten der Gläser mit ihrer Zusammensetzung wechseln und nicht konstant sind, sondern von der Temperatur abhängen. Die Ausdehnung des Gefäßmaterials spielt eine erheblich geringere Rolle, wenn man als thermometrische Substanz statt einer Flüssigkeit ein Gas wählt. Allerdings steht man auch bei diesem Verfahren mit wachsenden Ansprüchen an Genauigkeit bald einer Grenze gegenüber, denn jedes Gas liefert unter sonst gleichen Bedingungen für dieselbe Temperatur verschiedene Gradwerte, und außerdem kann ein Gasthermometer nicht bis zu beliebig tiefen oder beliebig hohen Temperaturen verwendet werden, da es unbrauchbar wird, wenn das Meßgas kondensiert oder das Gefäßmaterial sich dem Schmelzpunkt nähert.

Den einzigen Ausweg aus diesen Schwierigkeiten bietet die Thermodynamik, in deren zweitem Hauptsatz die Temperatur unabhängig von irgend-

einem speziellen Körper und ohne Beschränkung auf bestimmte Temperaturgrenzen definiert ist. Es kommt nur darauf an, *solche* Folgerungen des zweiten Hauptsatzes auszuwählen, bei denen die Temperatur mit leicht meßbaren Größen in Beziehung steht. Eine solche Folgerung ist z. B. die Clausius-Clapeyronsche Gleichung, mit deren Hilfe die Temperatur aus der Verdampfungs- oder Sublimationswärme einer beliebigen Flüssigkeit oder eines beliebigen festen Körpers, der Dichte des Kondensats und der Dichte seines gesättigten Dampfes, sowie dem Temperaturkoeffizienten des Dampfdruckes abgeleitet werden kann.

Andere Folgerungen der Thermodynamik erlauben aus der Temperaturänderung, die ein strömendes Gas an einer Drosselstelle (Joule-Thomson-Effekt) erleidet, die Korrektion abzuleiten, welche man an den Angaben eines Gasthermometers anbringen muß, um die Temperatur in der thermodynamischen Skala zu erhalten. Diese Korrektion ist um so kleiner, je geringer die Dichte oder der Druck des Gases ist. Sie ergibt sich für ein beliebiges Gas zu Null, wenn seine Dichte so gering ist, daß gegen das spezifische Volumen des Gases die Volumina der Moleküle nicht in Betracht kommen und die Anziehungskräfte zwischen den Molekülen keine merkliche Rolle spielen. Man kann darum die thermodynamische Temperatur auch gewinnen, wenn man die Angaben mehrerer Gasthermometer vergleicht, die mit demselben Gas von verschiedener Dichte gefüllt sind, und auf die Gasdichte Null extrapoliert. Einfacher ist es indessen, aus den Isothermen der Gase, d. h. den Kurven für die Abhängigkeit des Produktes $p \cdot v$ (Druck mal Volumen) von der Temperatur, die genannten Korrektionen für ein Gasthermometer beliebiger Dichte abzuleiten.

Jenseits der oberen Grenze für die Gasthermometrie führt die Thermodynamik zu einfachen Methoden der Temperaturmessung, wenn man die thermodynamischen Hauptsätze auf die Wärmestrahlung anwendet. Man gelangt dann zunächst zu dem Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetz und den Wienschen Verschiebungssätzen und nach Einführung der Quantentheorie zu dem Planckschen Gesetz für die Energieverteilung im Spektrum eines schwarzen Körpers.

Welche Methode man aber auch zur Gewinnung der thermodynamisch begründeten Temperatur anwenden mag, alle stimmen darin überein, daß zwei Konstanten auftreten, die willkürlich angenommen werden müssen. Dies geschieht am zweckmäßigsten dadurch, daß man dem Eis- und dem Siedepunkt des Wassers, den beiden Fundamentalpunkten der Thermometrie, willkürlich bestimmte Zahlenwerte zuordnet. In dieser Festsetzung kommt die Entscheidung über die Réaumur- und Celsiusskala zum Ausdruck. Es dürfte nicht allgemein bekannt sein[1]), daß CELSIUS (1742) dem heutigen Brauch entgegen den Siedepunkt des Wassers mit 0, den Schmelzpunkt des Eises mit 100° bezeichnete und daß später erst sein Zeitgenosse STRÖMER die Zählrichtung umdrehte. Diese Tatsachen lassen es aber dennoch nicht ungerechtfertigt erscheinen, die Skala nach CELSIUS zu benennen; denn sein Verdienst ist es, die Einteilung des Fundamentalintervalles unserem dekadischen Zahlensystem angepaßt zu haben. In dem deutschen Gesetz ist übrigens der Name CELSIUS nicht genannt.

4. *Die gesetzliche Regelung der Temperaturmessung.* § 1 des Gesetzes gibt eine für alle Fälle und alle Zeiten gültige Definition der Temperaturskala mit den Worten: „Die gesetzliche Temperaturskala ist die thermodynamische Skala mit der Maßgabe, daß die normale Schmelztemperatur des Eises mit 0° und die normale Siedetemperatur des Wassers mit 100° bezeichnet wird." Ohne jede Erläuterung dürfte dieser Satz allzu abstrakt erscheinen und die meisten Leser darüber im Zweifel lassen, wie bei der Temperaturmessung wirklich zu verfahren ist. Der nächste Satz desselben Paragraphen aber nimmt ihnen diese Sorge ab. Er lautet: „Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt hat diese Temperaturskala festzulegen und bekanntzumachen."

5. *Gesetzliche Regelung der Temperaturmessung in Frankreich.* Von anderen Staaten besitzt, soviel dem Berichterstatter bekannt, nur Frankreich ein Gesetz über die Temperaturskala und die Wärmeeinheit. Das französische Gesetz (vom 2. April 1919) geht nicht auf die thermodynamische Skala zurück. Es legt den „Zentesimalgrad" durch die Druckänderung eines idealen Gases fest, dessen Masse und Volumen konstant gehalten wird. Es beschränkt sich also auf eine spezielle Folgerung der Thermodynamik, welche nicht erkennen läßt, daß es auch zulässig ist, die Temperatur durch Strahlungsmessungen zu bestimmen. Trotz der unterschiedlichen Fassung müssen aber beide Gesetze zu denselben Temperaturangaben führen.

6. *Die gesetzliche Regelung der Messung von Wärmemengen durch das deutsche Gesetz und die Begründung dieser Regelung.* § 2 des deutschen Gesetzes handelt von den Wärmeeinheiten. Er lautet folgendermaßen:

„Die gesetzlichen Einheiten für die Messung von Wärmemengen sind die Kilokalorie (kcal) und die Kilowattstunde (kWh).

Die Kilokalorie ist diejenige Wärmemenge, durch welche ein Kilogramm Wasser bei Atmosphärendruck von 14,5° auf 15,5° erwärmt wird.

Die Kilowattstunde ist gleichwertig dem Tausendfachen der Wärmemenge, die ein Gleichstrom von einem gesetzlichen Ampere in einem Widerstand von einem gesetzlichen Ohm während einer Stunde entwickelt, und ist 860 Kilokalorien gleich zu erachten."

Hiernach ist die Einheit der Wärmemenge oder Wärmeenergie auf zwei verschiedene Arten definiert. Das Gesetz unterscheidet die thermische und die elektrische Einheit. Man könnte ohne wei-

[1]) Vgl. E. MACH, Die Prinzipien der Wärmelehre. 2. Aufl., S. 12. 1900.

teres noch die mechanische (das Erg) hinzufügen, um nur die wesentlichsten Formen zu nennen, in denen wir Energien zu messen gewohnt sind. In erster Linie kommt es hier auf die thermische Einheit und ihre Umrechnungsfaktoren zu den anderen Einheiten an. Die thermische Einheit läßt sich auf sehr verschiedene Weise definieren, da sie nur mit Hilfe einer bestimmten Substanz und unter Annahme einer bestimmten Temperatur festgelegt werden kann. Bei der elektrischen und mechanischen Energieeinheit besteht keine solche vielfältige Möglichkeit. Auf Grund des Zentimeter-Gramm-Sekundensystems und der gesetzlich geregelten elektrischen Grundeinheiten stehen sie auch ohne besonderes Gesetz eindeutig fest.

Auch über die Substanz, mit der die thermische Wärmeeinheit zu verknüpfen ist, können keine ernsten Zweifel bestehen; wohl aber sind die verschiedensten Vorschläge über die Wahl der Temperatur gemacht worden, bei welcher der zur Definition der Wärmeeinheit notwendige Temperaturanstieg des Wassers zu messen ist. Diese Festsetzung einer bestimmten Temperatur ist deswegen nötig, weil die spezifische Wärme des Wassers mit der Temperatur veränderlich ist. Sie nimmt von 0° bis 33° um 0,7% ab und steigt mit wachsender Temperatur wieder an. Man hat vorgeschlagen, den Temperaturanstieg bei 0°, 15° oder 20° zu messen oder auch den 100. Teil des Temperaturanstieges vom Eispunkt bis zum Siedepunkt als Norm anzunehmen. In dem deutschen Gesetz ist die 15°-Kalorie zugrunde gelegt, weil bei dieser Temperatur bisher die genausten kalorischen Messungen insbesondere über das Verhältnis der thermischen zur elektrischen Energieeinheit ausgeführt werden konnten. Nach den Beobachtungen von JAEGER und v. STEINWEHR sind 4,1842 Wattsekunden erforderlich, um 1 g reinen Wassers unter dem Druck einer Atmosphäre von 14,5 bis 15,5° zu heizen. Eine Wattsekunde ist hierbei die Energie, welche während einer Sekunde ein Strom von einem gesetzlichen Ampere in einem Leiter von einem gesetzlichen Ohm Widerstand erzeugt. Rechnet man die Masse, der Grundeinheit entsprechend, nach Kilogramm und die elektrische Energie, dem Brauch der Technik folgend, nach Kilowattstunden, so hat man die Kilokalorie gleich $\frac{4{,}1841}{60 \cdot 60} = 0{,}0011623$ Kilowattstunden oder 1 Kilowattstunde = 860,38 Kilokalorien zu setzen. Im Gesetz ist diese letztere Zahl auf 860 abgekürzt, sie ist also um etwa 0,05% kleiner als die aus den Beobachtungen errechnete. Gegen diesen Unterschied dürften ernstlich keine Bedenken zu erheben sein, da die Genauigkeit, mit der die bisherigen feinsten Messungen den Umrechnungsfaktor ergeben haben, etwa 0,02% beträgt und in der Technik diese Genauigkeit nicht annähernd weder bei den elektrischen noch bei den thermischen Messungen erreicht wird. Indessen ist zuzugeben, daß bei erheblicher Verfeinerung der Meßtechnik die Zahl 860 möglicherweise abgeändert werden muß. Der hiermit verbundene Mangel haftet allen Doppeldefinitionen an; doch ist einstweilen nicht ersichtlich, wie man bei der so vielgestaltigen Energiegröße mit einer einzigen Definition auskommen könnte.

Zur Umrechnung auf die mechanische Energiegröße ist eine Wattsekunde gleich 10^7 Erg zu setzen. Wohl zu beachten ist aber, daß sich in diesem Falle die Wattsekunde nicht auf das gesetzliche Ampere und das gesetzliche Ohm, sondern auf die entsprechenden absoluten Größen bezieht. Das gesetzliche und absolute Ampere unterscheiden sich so wenig (höchstens einige hunderttausendstel), daß die Differenz bisher nicht sicher festgestellt werden konnte; dagegen ist bekannt, daß das gesetzliche Ohm um 0,05% größer als das absolute Ohm ist, so daß also auch das internationale und das absolute Watt um diese an der Grenze der thermischen Meßgenauigkeit liegende Größe verschieden sind. Für die Technik fällt auch dieser Unterschied einstweilen nicht ins Gewicht. Dagegen ist für sehr genaue wissenschaftliche Beobachtungen eine Kalorie gleich $4{,}1821 \cdot 10^7$ Erg zu setzen.

Besonders erwähnenswert erscheint noch die gesetzliche Sanktionierung der vom Ausschuß für Einheiten und Formelzeichen (A. E. F.) angenommenen Abkürzungen „kcal" für Kilokalorie und „kWh" für Kilowattstunde.

7. *Messung von Wärmemengen in Frankreich und den Vereinigten Staaten von Amerika.* Die 15°-Kalorie liegt auch im französischen Gesetz der Einheit der Wärmemenge zugrunde. Diese bezieht sich indessen nicht auf ein Kilogramm, sondern auf eine Tonne Wasser und wird „thermie" genannt. Amerikanische Forscher bevorzugen die 20°-Kalorie, die 0,12% kleiner als die 15°-Kalorie ist.

8. *Die übrigen Bestimmungen des deutschen Gesetzes.* Die §§ 3 bis 8 des deutschen Gesetzes betreffen Prüfung und Beglaubigung der thermischen Meßgeräte, Bestimmungen über ihre Fehlergrenzen usw. Außerdem wird verfügt, daß ein Jahr nach Verkündigung des Gesetzes, d. h. vom 7. August 1925 ab „im geschäftlichen Verkehr, insbesondere bei Ausübung eines Berufes oder Gewerbes" die gesetzlichen Einheiten für die Bestimmung und Messung von Temperaturen und Wärmemengen maßgebend sind.

9. *Die Festlegung der gesetzlichen Temperaturskala durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt.* Die der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in § 1 des Gesetzes zuerteilte Aufgabe ist bereits gelöst. Auf Grund der vielen Vorarbeiten, welche in diesem Institut seit Jahren auf dem Gebiet der Temperaturmessung geleistet sind, konnten bereits wenige Wochen nach Verkündigung des Gesetzes alle Einzelheiten bekanntgemacht werden, nach denen die gesetzliche Temperaturskala festgelegt ist. Der Grundgedanke ist hierbei folgender: Durch gasthermometrische Messungen mit Helium-, Wasserstoff- und Stickstoffthermometern, deren Angaben teils nicht merklich von der thermodynamischen Skala abweichen, teils durch sehr

kleine Korrektionen auf diese Skala zurückgeführt wurden, oder durch Strahlungsmessungen am schwarzen Körper sind eine Anzahl sicher reproduzierbarer Schmelz- und Siedepunkte reiner Körper bestimmt. Diese Fixpunkte der Thermometrie dienen als Eichpunkte für „sekundäre Thermometer" nämlich für Platinwiderstandsthermometer, Thermoelemente und Strahlungspyrometer, nachdem durch eingehende Untersuchungen für diese Thermometer der Zusammenhang zwischen der Temperatur einerseits und dem Widerstand, der Thermokraft oder der Strahlungsintensität andererseits bestimmt ist.

Wir haben bei der Temperaturmessung also drei Stufen zu unterscheiden: 1. die theoretische Definition (thermodynamische Skala); 2. die praktische Verwirklichung dieser Definition (Gasthermometrie, Messung am Normalstrahler oder schwarzen Körper) und 3. die Ausarbeitung einfacher Meßmethoden hoher Genauigkeit (sekundäre Thermometer).

Die Fixpunkte, die in der folgenden Zusammenstellung mitgeteilt sind, gliedern sich in zwei Gruppen: die eine umfaßt die Fixpunkte erster Ordnung, welche zur Definition der Skala durch die sekundären Thermometer unbedingt notwendig sind, die zweite Gruppe enthält eine Reihe anderer zuverlässiger Fixpunkte zweiter Ordnung, die durch die sekundären Thermometer selbst bestimmbar sind.

möglich, für die Quecksilbersäule eine Normaltemperatur anzunehmen. Es ist darum vorgeschrieben, daß die Quecksilbersäule auf die normale Dichte 13,595 (das ist sehr nahe die Dichte bei 0°) des Quecksilbers zu beziehen ist.

Zwischen − 193° und 0° soll die Temperatur durch den Widerstand R eines reinen Platindrahtes nach der Beziehung $R = R_0 [1 + a_1 t + b_1 t^2 + c_1 t^4]$ gemessen werden, deren 4 Konstanten R_0, a_1, b_1 und c_1 durch Eichung des Drahtes beim Siedepunkt des Sauerstoffes, dem Sublimationspunkt der Kohlensäure, dem Erstarrungspunkt des Quecksilbers und dem Schmelzpunkt des Eises bestimmt werden. Zwischen 0° und dem Erstarrungspunkt des Antimons dient ebenfalls der Widerstand des Platins zur Temperaturmessung, indem in diesem Gebiet $R = R_0 [1 + a_2 t + b_2 t^2]$ gesetzt wird und die 3 Konstanten R_0, a_2 und b_2 durch Eichung des Drahtes beim Schmelzpunkt des Eises, dem Siedepunkt des Wassers und dem Siedepunkt des Schwefels gewonnen werden. Hier ist zu bemerken, daß der Platindraht also noch 186° oberhalb seines höchsten Eichungspunktes zur Temperaturmessung dienen soll. Durch zahlreiche Beobachtungen ist erwiesen, daß auf diese Weise die Temperatur bis zum Schmelzpunkt des Antimons (630°) noch auf 0,1° sicher gefunden werden kann. Als Kennzeichen für die Reinheit des Platins wird gefordert, daß das Widerstandsverhältnis R/R_0 bei

Fixpunkte erster Ordnung:

Siedepunkt des Sauerstoffes	$t = -183{,}00° + 0{,}0126\ (p - 760) - 0{,}0000065(p - 760)^2$
Sublimationspunkt der Kohlensäure	$t = -78{,}50° + 0{,}01595(p - 760) - 0{,}000011\ (p - 760)^2$
Schmelzpunkt des Quecksilbers	$t = -38{,}87°$
Schmelzpunkt des Eises	$t = \pm 0{,}000°$
Siedepunkt des Wassers	$t = 100{,}000° + 0{,}0367(p - 760) - 0{,}000023(p - 760)^2$
Siedepunkt des Schwefels	$t = 444{,}60° + 0{,}0909(p - 760) - 0{,}000048(p - 760)^2$
Schmelzpunkt des Silbers	$t = 960{,}5°$
Schmelzpunkt des Goldes	$t = 1063°$.

Fixpunkte zweiter Ordnung:

Umwandlungspunkt von Natriumsulfat	$t = 32{,}38°$
Siedepunkt von Naphthalin	$t = 217{,}9_6° + 0{,}058\ (p - 760)$
Erstarrungspunkt von Zinn	$t = 231{,}85°$
Siedepunkt von Benzophenon	$t = 305{,}9° + 0{,}063\ (p - 760)$
Erstarrungspunkt von Kadmium	$t = 320{,}9°$
Erstarrungspunkt von Zink	$t = 419{,}4_5°$
Erstarrungspunkt von Antimon	$t = 630{,}5°$
Erstarrungspunkt von Kupfer	$t = 1083°$
Schmelzpunkt von Palladium	$t = 1557°$
Schmelzpunkt von Platin	$t = 1770°$
Schmelzpunkt von Wolfram	$t = 3400°$.

Bei den Siede- und Sublimationspunkten bedeutet p den Druck des gesättigten Dampfes in Millimeter Quecksilber. Die Erstarrungs-, Schmelz- und Umwandlungspunkte beziehen sich auf den normalen Atmosphärendruck $p = 760$ mm Quecksilber. Da die Höhe der Quecksilbersäule von ihrer Temperatur und der Schwerebeschleunigung an ihrem Ort abhängt, so ist sie auf die Normalwerte dieser beiden Größen zu reduzieren. Als Normalwert der Schwere ist 980,665 cm/sec² vorgeschrieben. Zur Vermeidung eines Zirkels ist es aber nicht

− 183 kleiner als 0,250, bei + 100° größer als 1,390 und bei 444,6° größer als 2,645 ist.

Oberhalb 630° wird das Platinthermometer durch das Thermoelement Platin gegen Platin mit 10% Rhodium abgelöst, das im Bereich vom Erstarrungspunkt des Antimons bis zum Schmelzpunkt des Goldes zur Festlegung der Temperaturskala dient, indem die elektromotorische Kraft e dieses Thermoelementes mit der Temperatur t durch die Beziehung $e = a_3 + b_3 t + c_3 t^2 + d_3 t^3$ verknüpft wird. Die 4 Konstanten a_3, b_3, c_3 und d_3

sind durch Eichung des Elementes an den Erstarrungspunkten von Zink, Antimon, Silber und Gold zu bestimmen, von denen die beiden ersteren als sekundäre Fixpunkte im Bereich des Platinwiderstandsthermometers mit diesem Instrument zu messen sind. Das Thermoelement soll so beschaffen sein, daß seine elektromotorische Kraft am Goldschmelzpunkt zwischen den Werten 10200 und 10400 Mikrovolt liegt.

Oberhalb des Goldschmelzpunktes wird die Temperatur $T = t + 273$ aus dem monochromatischen Helligkeitsverhältnis $H_T : H_0$ eines schwarzen Körpers bei der Temperatur T und dem Goldschmelzpunkt $T_0 = 1063° + 273° = 1336°$ nach der Wien-Planckschen Beziehung $ln \frac{H_T}{H_0} = \frac{c}{\lambda}\left[\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right]$ bestimmt, in der λ die Wellenlänge des monochromatischen (sichtbaren) Lichtes bezeichnet und die Konstante $c = 1{,}43$ cm · Grad gesetzt wird. Die obere Grenze für die Gültigkeit der Gleichung ist dadurch gegeben, daß $\lambda \cdot (t + 273)$ kleiner als 0,3 cm · Grad sein muß.

Alle diese Festsetzungen sind so getroffen, daß keine Temperatur auf mehr als eine Art bestimmt werden kann. In einem Zusatz ist nur zugestanden, daß man die Messung zwischen — 193° und 0° dadurch vereinfachen kann, daß in diesem Gebiet die Konstante c_1 des Platinwiderstandes zu $-5 \cdot 10^{-12}$ angesetzt und die Eichung am Sublimationspunkt der Kohlensäure erspart werden darf. Diese Vereinfachung kann indessen nur so lange aufrechterhalten werden, als sie keine merkliche Abweichung von dem Fall liefert, daß die Konstante c_1 empirisch ermittelt ist.

10. *Die Ausführungsbestimmungen des französischen Gesetzes über die Temperaturskala.* Nach den Ausführungsbestimmungen des französischen Gesetzes wird die Temperatur oberhalb — 240° durch ein Wasserstoffthermometer konstanter Dichte gemessen, dessen Fundamentalpunkte mit 0° und 100° bezeichnet sind. Die obere Grenze für diese Skala ist nicht angegeben, sie dürfte aber + 500° nicht überschreiten, da Wasserstoff in höherer Temperatur wegen seiner großen chemischen Aktivität oder seiner lebhaften Neigung zur Diffusion als Meßgas nicht geeignet ist. Die deutschen Bestimmungen besitzen den französischen gegenüber den doppelten Vorzug, daß sie einen viel größeren Temperaturbereich umspannen und daß sie neben größerer relativer Genauigkeit viel leichter ausführbar sind. Ferner überrascht, daß der französische Gesetzgeber die Dichte des Wasserstoffes im Gasthermometer, die bei hohen Ansprüchen an Genauigkeit die Temperaturangaben beeinflußt, völlig unerörtert läßt. Offenbar handelt es sich um eine Anlehnung an die Temperaturskala, die das Bureau international für seinen internen Gebrauch im Jahre 1887 festlegte. Es kam damals wesentlich der Temperaturbereich zwischen 0 und 100° in Frage und die Wahl fiel auf das Wasserstoffthermometer konstanter Dichte mit einem Druck von 1000 mm Quecksilber bei 0°. Da die Handhabung eines solchen Instrumentes für häufigen Gebrauch aber als zu schwierig erkannt wurde, so wurde die Temperaturskala durch den Mittelwert der Angaben von 4 Quecksilberthermometern aus verre dur dargestellt, die CHAPPUIS an das Normal-Wasserstoffthermometer angeschlossen hatte. Diese Regelung, die der damaligen Lage der Naturwissenschaft aufs Beste entsprach, kommt heute nicht mehr in Betracht, da das Quecksilberthermometer von dem Platinwiderstandsthermometer an Genauigkeit übertroffen wird.

11. *Ausblick auf eine internationale Regelung der Temperaturmessung.* Es wäre sehr erwünscht, wenn den deutschen Vorschriften zur Temperaturmessung eine internationale Regelung folgte. In der Tat sind Verhandlungen über eine internationale Temperaturskala, die durch den Krieg unterbrochen waren, seit dem Herbst 1923 wieder aufgenommen worden und die drei großen physikalisch-technischen Forschungsinstitute der Vereinigten Staaten von Amerika, Englands und Deutschlands haben sich gemeinsam mit dem Kältelaboratorium in Leiden in allen Hauptfragen bereits weitgehend geeinigt.

Es steht zu erwarten, daß die erhofften internationalen Festsetzungen über die Temperaturskala von den Festsetzungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt so wenig abweichen werden, daß Unterschiede in den Temperaturangaben nirgends wahrnehmbar sind und daß infolgedessen eine Anpassung der deutschen Bestimmungen an die internationale Regelung ohne Schwierigkeit erfolgen kann.

Die Beziehungen der Metallographie zur physikalischen Forschung.

Von J. CZOCHRALSKI, Frankfurt a. M.

I. Geschichtliches.

Vor etwa fünfzig Jahren hat es nur eine Hütten*chemie* gegeben. Die Physik machte zu dieser Zeit die ersten schüchternen Antrittsbesuche im Bereiche der Hüttenkunde. Veranlassung hierfür gab der Wettbewerb zwischen Stahl und Eisen, sowie zwischen Flußeisen und Schweißeisen und seit 1879 auch zwischen Thomas- und Bessemereisen im Eisenbahnbau, besonders im Hinblick auf Schienenmaterial. Eine der wichtigsten physikalischen Eigenschaften des Eisens für seine praktische Verwendung erblickte man in der Festigkeit. Während früher die Festigkeitsbestimmungen nur ausnahmsweise vorgenommen wurden, hat die Festigkeitsprüfung seit 1879 eine außerordentliche Bedeutung gewonnen. In England war es KIRKALDY (1862), in Deutschland WÖHLER (1870) und in Schweden KNUT STYFFE (1870), die auf die Wichtigkeit der

Festigkeitsprüfung hingewiesen haben und diese systematisch einführten. Die Versuche WÖHLERS wurden im Auftrage der preußischen Regierung ausgeführt. Auf Grund dieser Versuche wurden die ersten Festigkeitsbedingungen bei Lieferungen vorgeschrieben. Ein Jahr darauf wurden Normalien für die Eisenbahnwagen ausgearbeitet. Eine der ersten brauchbaren Prüfmaschinen wurde von WÖHLER konstruiert. Ihr folgten zahlreiche neue Konstruktionen, deren Entwicklung, die auch zu anderen Prüfungsvorrichtungen führte, noch in die Neuzeit verfolgt werden kann.

Die physikalisch-mechanische Prüfungsmethode ist den Metallwerken durch die Behörden gewissermaßen aufgenötigt worden. Man kann wohl sagen, daß sie unter diesem Druck entgegen dem Willen vieler Industriekreise ihren Anfang genommen hat.

Während nun die Chemie als zuverlässige Beraterin bei dem Hüttenmann bereits zu jener Zeit gut eingeführt war und ihm unschätzbare Dienste leistete, gewöhnte er sich nur langsam und widerstrebend an die physikalisch-mechanischen Prüfungsmethoden, und es dauerte geraume Zeit, ehe er sich mit dieser konventionellen Form der Bewertung seiner Erzeugnisse durch die Behörden befreundete. Vielleicht ist hierin ein wichtiger Grund dafür zu erblicken, warum die wissenschaftliche Erforschung vieler technologisch-mechanischer Fragen lange Zeit nicht recht vorangekommen war.

Mit dem Emporblühen der physikalischen Chemie wurde die Physik ihrer kaum angeknüpften Beziehungen zur Hüttenkunde verlustig, indem die physikalische Chemie ihre Stelle einnahm.

Durch die Einflüsse der physikalischen Chemie ist die Hüttenkunde ein ungeheueres Stück vorwärts gebracht worden; eine Frucht dieser Entwicklung ist die allgemeine Metallkunde. Sie feierte in den beiden letzten Jahrzehnten ihre höchsten Erfolge. Unterdessen ist aber kaum bemerkt worden, daß die physikalisch-mechanische Seite dieses neuen Gebietes der Stoffkunde nur ein gewissermaßen konventionelles Dasein führte. Freilich haben auch hier einige Forscher, wenn auch vereinsamt, so doch unentwegt, ihre Bemühungen fortgesetzt. In erster Linie waren es HEYN, LUDWIK und TAMMANN, die die inneren Vorgänge beim Fließen der Metalle in ihr Arbeitsgebiet aufgenommen haben, nachdem der erste Anstoß durch die beiläufigen Arbeiten von WEDDING, LEDEBUR, WÖHLER und BAUSCHINGER gegeben war. Erst neuerdings scheinen sich endgültige Verbindungswege zwischen den beiden Gebieten zu ergeben. Maßgeblichen Einfluß haben später auf diese Entwicklung auch vereinzelte Forschungen der Technik gewonnen.

Die Errungenschaften der physikalischen Chemie brachten aber wohl nur dem Eisenhüttenmanne, der die Eigenschaften seiner Erzeugnisse mehr durch chemische als durch physikalisch-mechanische Prozesse zu beeinflussen sucht, vollen Nutzen. Um eine Bestätigung des Gesagten zu finden, braucht man nur die Lehrbücher der Metallographie einer Durchsicht zu unterziehen. In der Hauptsache kommt es beim Eisen mehr auf die Vergütung auf physikalisch-chemischer Grundlage an als auf die Verfestigung durch Knetbearbeitung, die bei Eisen und Stahl, im Gegensatz zu den anderen Metallen, eine verhältnismäßig geringe Rolle spielt. Auf diese grundsätzlich verschiedene Art der Betätigungsgebiete wird bei der Ausbildung des Metall-Hüttenmannes noch nicht genügend Rücksicht genommen.

In diesem Zusammenhange wird man wieder auf die Aufgaben gelenkt, die die Physik in der Metallkunde zu erfüllen hat.

So vielverheißend nun die ersten Versuche der vorgenannten Forscher waren, so zeigte sich alsbald die Schwierigkeit, weitere erfolgreiche Angriffspunkte auf diesem Arbeitsgebiete zu finden. Erschwerend war noch, daß das Studium der inneren Vorgänge beim Fließen der Metalle fast ausschließlich an Haufwerke von Metallkrystallen gebunden war. Aus dem Verhalten dieser „quasiisotropen" Körper war es schwierig, wenn nicht unmöglich, Rückschlüsse auf das Verhalten der Einzelkrystalle zu ziehen. Erst nachdem mehrere Verfahren bekanntgegeben wurden, die in bequemer Weise die Herstellung großer Einkrystalle gestatten, ist die Erforschung dieser Frage in eine neue Phase gerückt.

II. Erzeugung von Einkrystallen.

Der erste Versuch, einzelne Krystallindividuen durch Ausschälen aus grobkrystallinen Gußstücken zu gewinnen, ist wohl 1913[1]) unternommen worden. Die Methode ist aber nur ein Notbehelf. Es gelingt auf diese Weise schwer, Krystalle von genügender Größe zu erzeugen, außerdem sind Gußkrystalle nur selten homogen und können demzufolge gewisse Schwächen aufweisen, die unzuverlässige Zahlenwerte ergeben können. Immerhin ist es möglich, unter günstigen Arbeitsbedingungen nach dem Verfahren Krystallindividuen bis zu Fingergröße zu erhalten. Einige auf diese Weise erzeugte Kupferkrystalle zeigen die Fig. 1 u. 2; die Krystalle sind mit Schliffflächen versehen, die dendritisches Ätzgefüge aufweisen und mit deren Hilfe die Orientierung der Krystalle sich unschwer feststellen läßt[2]).

Lange Zeit hindurch war man nun auf dieses Verfahren angewiesen, zumal natürliche Metallkrystalle aus Sammlungen infolge verständlichen Besitzeifers für Untersuchungszwecke so gut wie unzugänglich waren. Durch einen merkwürdigen Zufall hat Verfasser dann 1917 das „Capillarverfahren" zur Erzeugung von Krystallfäden gefunden, und zwar auf Grund der Beobachtung, daß aus einer erstarrenden Schmelze an einem Glasstab od. dgl. entnommene Tropfen der Schmelze keine Kugelgestalt annehmen, sondern entgegen

[1]) MOELLENDORFF und CZOCHRALSKI, Zeitschr. d. Ver. dtsch. Ing. 1913, S. 931.

[2]) Zeitschr. d. Ver. dtsch. Ing. 1923, S. 536.

dem Gesetz der Oberflächenspannung zu einer Kegelspitze erstarren. Das Verfahren beruht im Prinzip auf der einfachen Tatsache, daß man die auf diese Weise erzeugte Kegelspitze (Metallstück oder Krystallsplitter) mit der Schmelze in Berührung bringt und alsdann mit geeigneter Geschwindigkeit kontinuierlich aus der Schmelze herauszieht; die durch Adhäsion mitgenommenen Anteile der Schmelze erstarren in geringer Entfernung von der Oberfläche des Metallbades zu einem sich stetig ergänzenden Einkrystallfaden. Soweit es gelingt, den Krystallen von vornherein eine gewünschte Orientierung zu verleihen (gute Ergebnisse haben WARTENBERG, POLANYI und GRÜNEISEN erzielt), leistet das Verfahren gute Dienste; ein Aufteilen der Krystalle in verschieden orientierte Stäbe kommt wegen der meist sehr geringen Dicke (ca. 1 mm) nicht in Frage. Bemerkenswert ist ferner, daß das Verfahren direkt zur Messung der Krystallisationsgeschwindigkeit benutzt werden kann.

Etwa zu gleicher Zeit hat der Verfasser auch das sog. Rekrystallisationsschema und damit einen neuen Weg zur Erzeugung von Einkrystallen bekanntgegeben[1]). Dieser Weg erwies sich bald als besonders erfolgreich.

Im wesentlichen verfährt man wie folgt: Weichgeglühte Metallstreifen werden einer Kaltstreckung von einigen wenigen Prozenten unterworfen und darauf erneut rekrystallisiert. Bei geeigneten Graden der Kaltstreckung und der Glühtemperatur können die Metallstreifen bei der Rekrystallisation in Einkrystalle verwandelt werden. Besondere Wärmebehandlung kann sich hierbei als vorteilhaft erweisen. Solche Krystalle eignen sich für physikalische Untersuchungen ganz besonders, weil sie in allen Abmessungen hergestellt werden können und auch an der Oberfläche frei von krystallographischen Störungen sind[2]). Man kann auf diese Weise Krystalle bis zu mehreren Zentimetern Dicke und mehreren Dezimetern Länge in bequemer Weise erzeugen. Durch Aufteilen solcher Krystalle erhält man alsdann das geeignete Versuchsmaterial für die Durchführung von umfassenden Versuchsreihen. Vom Verfasser wird fast ausschließlich dieser Weg als der sicherste und zuverlässigste benutzt.

III. Bisherige Forschungsergebnisse.

Nachdem so das Feld für eine fruchtbare Arbeit genügend vorbereitet war, wurden von verschiedenen Seiten Einzeluntersuchungen durchgeführt, und zwar einige der ersten bereits 1913, 1916 und 1917[1]). In Anlehnung an die früheren krystallographischen Forschungen bestätigen sie die Angaben REUSCHS und MÜGGES über das Auftreten von Gleitebenen an Einkrystallen des Kupfers bestimmter Orientierung, die aus Gußstücken gewonnen wurden. U. a. wurde auch die Beziehung der Gleitebenen zu den Ätzfiguren ermittelt und die asymmetrische Verformung von Einkrystall-Druckkörpern näher beschrieben. Wichtiger war die Feststellung, daß die Fließvorgänge auch im Innern der Einzelkrystalle verfolgt werden können und stets einschneidende Veränderungen in der gesetzmäßigen Gefügeausbildung hervorrufen. Diese Beobachtungen gaben den ersten Anlaß zu der Entwicklung der in der Folge als sehr erfolgreich erwiesenen Verlagerungshypothese. Im Zusammenhang mit ihr haben auch die Rekrystallisationserscheinungen an Ein- und Vielkrystallen weitgehende Aufklärung gefunden. Die letzte der genannten Arbeiten behandelt die Capillarmethode der Krystallerzeugung und die Messung der Krystallisationsgeschwindigkeit an den Metallen Zink, Zinn, Blei.

Weitere physikalische Untersuchungen an solchen Capillarkrystallfäden des Zinks und Wolframs führte WARTENBERG[2]) aus und stellte fest, daß elastische Nachwirkungserscheinungen an Einkrystallen dieser Metalle ebenso wie bei anderen Einkrystallen nicht nachgewiesen werden können.

Neueren Datums sind die Messungen der Elastizitätsgrenze an Aluminium-Einkrystallen verschiedener Orientierung, die der Verfasser durchgeführt hat, desgleichen des elektrischen Leitungsvermögens auch nach Kaltbearbeitung und die sehr exakten Messungen der elastischen Konstanten und des elektrischen Leitvermögens, die GRÜNEISEN an Zink und Cadmiumkrystallen durchgeführt hat[3]).

Eine besondere Stellung unter den einschlägigen Arbeiten nehmen die eindringlichen Untersuchungen POLANYIS und seiner Schule[4]) ein, auf Grund deren sie verschiedene Hypothesen über die inneren Fließvorgänge herleiten. In diesen Arbeiten werden aber nur die *„asymmetrischen Gleitvorgänge"* berücksichtigt. Das *„asymmetrische Fließen"*, das das Wesen aller Verfestigungsvorgänge ausmacht, ist ihrer Beobachtung unbemerkt entgangen.

Dies liegt im System ihrer Arbeitsmethode. Einmal gestattet das Drehkrystall- und das DEBYE-SCHERRER-Verfahren, die diese Forscher anwenden, nicht, Raumgitterstörungen röntgenphysikalisch exakt zu deuten, alsdann sind röntgentechnische Fragen, insbesondere die der Strah-

[1]) Int. Zeitschr. f. Metallographie 1916, S. 1ff.

[2]) In diesem Zusammenhang sei auf das Verfahren von ORBIG und SCHALLER zur Erzeugung von Fadenkrystallen verwiesen, das mit dem soeben erörterten verwandt sein dürfte und auf der Erzeugung von Einkrystallen aus gepreßten Metallpulvern beruht. Dieses Verfahren wird von vielen Werken als Geheimverfahren zur Herstellung von Glühlampenfäden benutzt.

[1]) MOELLENDORFF und CZOCHRALSKI, Zeitschr. d. Ver. dtsch. Ing. 1913, S. 931; CZOCHRALSKI, Int. Zeitschr. f. Metallographie 1916, S. 1ff; CZOCHRALSKI, Zeitschr. f. phys. Chemie **92**, 219. 1917.

[2]) Verhandl. d. dtsch. phys. Ges. 1918, S. 113.

[3]) Phys. Zeitschr. **24**, S. 506. 1923.

[4]) Lit. vgl. CZOCHRALSKI, Moderne Metallkunde 1924, S. 246 (Verlag Springer, Berlin).

lungsintensität gestörter Gitteranteile kaum einer näheren Untersuchung unterzogen worden[1]). Anomalien, die bei Aufnahme der Röntgendiagramme deformierter Metalle stets auftreten und die sich in verringerter Schärfe der Spektralbänder und im Auftreten von schwachen Nebenbändern äußern, sind einer Auswertung bislang nicht unterzogen worden. Also auch vom Standpunkte des Röntgentechnikers kann den Ergebnissen kaum eine überragende Beweiskraft beigemessen werden.

Inwieweit die Ergebnisse der Röntgenanalyse als beweiskräftig anzusprechen sind, muß vom Standpunkte der rein metallographischen Forschung untersucht werden. Eine solche Untersuchung führt aber zu einer Ablehnung der bei der Röntgenanalyse gewonnenen Ergebnisse. Schon winzige, bei der Deformation intakt gebliebene Gitterelemente müssen nämlich zu den gleichen Röntgendiagrammen führen, solange die Röntgenverfahren eine qualitative und quantitative Bestimmung gestörter und ungestörter Gitteranteile nicht gestatten. Es kommt ferner noch hinzu, daß der überelastischen Deformation stets eine, wenn auch noch so geringfügige Rekrystallisation folgt, so daß mit der Anwesenheit ungestörter Gitterelemente von vornherein gerechnet werden muß. Auch bei Einkrystallen kann nämlich nach überelastischer Beanspruchung eine stetige Volumenänderung im MARTENS-Apparat nachgewiesen werden, eine Erscheinung, die zweifellos auf verborgene Rekrystallisation hinweist.

Alle Methoden, die also auf die Bestimmung der intakten Gitteranteile hinzielen, müssen als nichtbeweiskräftige Versuche gewertet werden; es ist überhaupt eine offene Frage, inwieweit sich diese Verfahren in Zukunft für die Metallographie noch als ausbaufähig erweisen werden.

Den ersten Anhalt für das Auftreten *„asymmetrischer Fließvorgänge"* gab die Beobachtung von Gefügeveränderungen im Innern von Einzelkrystallen, die durch vorausgegangene überelastische Beanspruchung hervorgerufen und im Ätzbild festgehalten werden konnten. Dieses „asymmetrische Fließen" konnte aber bis vor kurzem nur qualitativ verfolgt werden, eine quantitative Erfassung und Auswertung war bislang noch nicht möglich. Erst neuerdings ist es dem Verfasser gelungen, ein Verfahren der quantitativen Messung, das sog. „Topometerverfahren", auf das noch näher eingegangen werden soll, auszuarbeiten. Die von der Verlagerungshypothese gemachte Annahme tiefgreifender Raumgitterstörungen bei der überelastischen Beanspruchung von verfestigungsfähigen Krystallen hat dadurch sehr an Untergrund gewonnen; die Möglichkeit von Raumgitterstörungen kann nicht mehr als Hypothese gewertet werden, sondern besitzt somit den Wert einer experimentell erwiesenen Tatsache. Den asymmetrischen Fließvorgängen kommt in der Metallkunde eine herrschende Rolle zu, während rein symmetrische Gleitungen wohl noch als problematisch zu bezeichnen sein dürften.

Die sporadischen Veröffentlichungen, die den Forschungen an Einkrystallen gewidmet waren, vermochten noch keinen klaren Einblick in die sehr verwickelten Verhältnisse zu geben. Erst durch die systematischen Untersuchungen der inneren und äußeren Fließerscheinungen, sowie der physikalischen Eigenschaften in den verschiedenen Achsenrichtungen der Krystalle war es gelungen, dieses Ziel in erster Annäherung zu erreichen. Über das Ergebnis der einschlägigen Arbeiten des Verfassers soll in folgendem kurz berichtet werden.

IV. Neue Ergebnisse und Ziele.

Innere und äußere Fließerscheinungen.

Das Studium der inneren Vorgänge beim Fließen der Metalle war, wie bereits erwähnt, wenig erfolgreich, da als Versuchsmaterial fast ausnahmslos nur Vielkrystallproben dienten. Versuche dieser Art wurden von vielen Forschern, u. a. von HEYN, durchgeführt; sie führten allenthalben zu Feststellungen, die in grober Gesetzmäßigkeit zur Geometrie des Fließens in Beziehung standen.

Es war nun von vornherein wahrscheinlich, daß homogene Einkrystalle für diese Versuche ein wesentlich geeigneteres Ausgangsmaterial sein dürften als Vielkrystallaggregate. Der Schritt war also durchaus naheliegend, Einkrystalle auf ihr Verhalten hin zu prüfen.

Methodisch kann wie folgt verfahren werden: Werden Einkrystalle mit entsprechenden Agenzien angeätzt, so kann man beobachten, daß in den verschiedenen Krystallrichtungen der Angriff ein verschiedener ist und auf diese Weise bestimmte Reflexionswirkungen zustande kommen, die mit dem inneren Krystallaufbau in engem Zusammenhang stehen.

In Fig. 3 ist ein von zwei kleineren Nachbarkrystallen umgebener Aluminiumkrystall im Längsschnitt veranschaulicht; für die Vorätzung diente Flußsäure, für die Nachätzung Salzsäure. Der mittlere Krystall zeigt über den ganzen Längsschnitt einheitliche homogene Reflexion. Je nach dem Beobachtungs- und Beleuchtungswinkel kann die Reflexionsintensität abgeschwächt oder verstärkt werden.

Wird nun ein solcher Aluminiumkrystall einer Beanspruchung unterzogen, so kann man leicht Störungen im Bereiche der anfänglich homogen reflektierenden Felder nachweisen. Ein zylindrischer Aluminiumeinkrystall, der einem Torsionsversuch unterworfen und darauf im Längsschnitt nach anschließender Ätzung untersucht wird, zeigt beispielsweise das in Fig. 4 wiedergegebene Reflexionsbild. Das ursprünglich homogen reflektierende Feld ist mannigfaltig gestört. Man kann aus der symmetrischen Konfiguration der Bilder sogar die Zahl der Torsionen herauslesen; in der Figur 4 entsprechen je zwei Einzelfelder je einer Torsion.

Es ist ohne weiteres klar, daß diese Reflexions-

[1]) Der Verfasser konnte einen Rückgang der Intensität von 10 auf 1 feststellen.

Fig. 1. Ätzdendriten, aus deren Anordnung man die Krystallorientierung ableiten kann. Kupferkrystall, geätzt mit Ammoniumpersulfat 1 : 10.

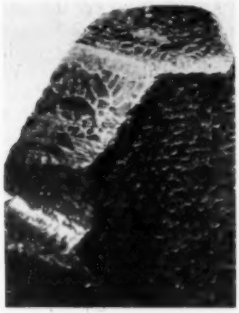


Fig. 2. Synthetischer Kupferkrystall mit Ätzdendriten. Geätzt mit Ammoniumpersulfat 1 : 10.

Fig. 3. Einkrystallstab aus Aluminium mit zwei anders orientierten Nachbarkrystallen. Längsschnitt. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

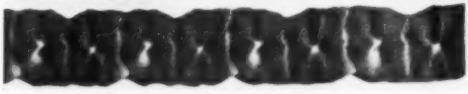


Fig. 4. Tordierter Aluminiumeinkrystallstab. Längsschnitt. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

Fig. 5. Tordierter Aluminiumeinkrystallstab. Querschnitt. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

Fig. 6. Spiralartig gebogener Aluminiumeinkrystall; Schnitt parallel zur Längsachse des Stabes. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

Fig. 7. Tordierter und darauf spiralartig gebogener Aluminiumeinkrystall. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

bilder je nach der Schnittrichtung verschieden sind und daß ihre Anordnung und Intensität je nach dem Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel wechseln muß. Quer zur Stabachse, also in einer Schnittebene, in der die Massenteilchen einen Verdrehungswinkel von nur wenigen Graden aufweisen, ist das Reflexionsbild, wie dies Fig. 5 veranschaulicht, nicht so mannigfaltig wie im Längsschnitt, in welchem die Verdrillung der Reflexionsebenen groß ist und daher in symmetrischer Anordnung und strenger periodischer Folge kenntlich hervortritt.

Bei einfacheren Deformationsarten erhält man weniger komplizierte Reflexionsbilder, wie dies die Fig. 6 an einem spiralförmig gebogenen Aluminiumeinkrystall mit einer parallel zur Längsachse verlaufenden Schnittfläche wiedergibt. Das Reflexionsbild entspricht einem dreistrahligen Stern, dessen Reflexionsintensität je nach dem Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel kontinuierlich in der Weise wechselt, wie sich dies für einen ideal gebogenen Einkrystall krystallgeometrisch ableiten und im voraus bestimmen läßt. Das Reflexionsbild muß sich also für die einzelnen Deformationsarten krystallgeometrisch voraussagen lassen, wenn die Orientierung sowie die Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel gegeben sind. Durch die Mannigfaltigkeit im Reflexionswechsel erfreut das Auge insbesondere die Fig. 7, die von einem tordierten und darauf spiralartig gebogenen Aluminiumeinkrystall herrührt. Je vielfältiger die Ausgestaltung des Fließfeldes, um so lebhafter sind also die Reflexionswirkungen.

Bei zu weit getriebener Deformation werden diese Erscheinungen immer schwächer. Der Krystallkörper ist dann krystallographisch in den Achsenrichtungen kaum noch ausgezeichnet. Seine Reflexionsintensität ist in allen Richtungen gleich, er ähnelt mehr oder weniger einem isotropen Körper. Fig. 8 veranschaulicht dies an einer Torsionsprobe, die nachträglich kalt ausgewalzt wurde. Von dem ursprünglichen Reflexionsbild ist auch nach starker Ätzung nicht mehr viel wahrzunehmen. Das Reflexionsvermögen kann aber nicht in allen Fällen ebenso leicht zerstört werden. So konnte beispielsweise das Fließbild des in der folgenden Fig. 9 wiedergegebenen Stabes trotz stärkster Beanspruchung nicht zum Verschwinden gebracht werden, und zwar sowohl nach einer Querschnittsabnahme von 80% (zweiter Stab), als auch nach einer solchen von 90% (dritter Stab) und sogar nach einer solchen von 99% (vierter Stab). Dieser Fall sei besonders betont, da POLANYI und seine Schule über diese Erscheinung gar zu leicht hinweggehen zu können glaubten. Daß auch ein derart beanspruchter Krystall nicht aufgehört hat, ein einheitlicher Krystallkörper zu sein, lehrt leicht die Tatsache, daß auf keinerlei Weise eine Unterteilung oder Zertrümmerung an eben diesem Krystallindividuum nachgewiesen werden kann. Wird aus einem solchen Krystall wiederum ein zylindrischer Körper geschnitten und dem Torsionsversuch unterworfen, so können die Einflüsse der Krystallnatur noch daran erkannt werden, daß der Stab seine zylindrische Form beim Torsionsversuch nicht beibehält, sondern sich in eigentümlich gesetzmäßiger Weise verformt. Er

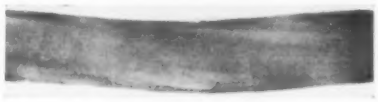


Fig. 8. Einkrystallstab aus Aluminium, nach vorangegangener Torsion stark ausgewalzt. Die Fließfiguren sind fast bis zur Unkenntlichkeit verwischt. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

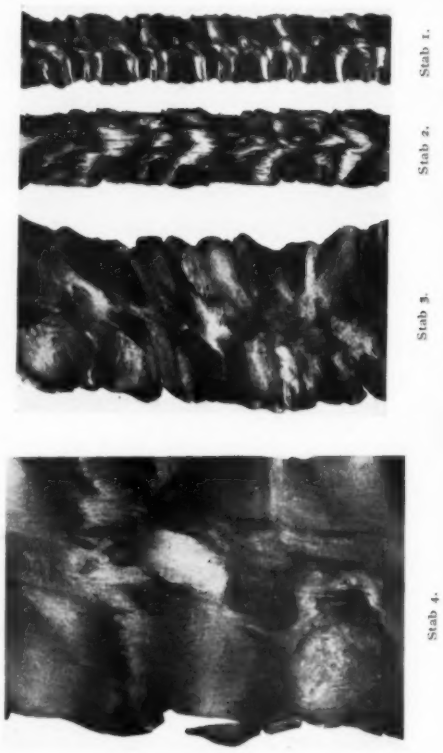


Fig. 9. Stab 1. Tordierter Einkrystallstab aus Aluminium mit gesetzmäßigen Fließfiguren. Stab 2. Derselbe Einkrystallstab nach dem Auswalzen. Querschnittsabnahme 80%. Stab 3. Derselbe Einkrystallstab nach weiterem Auswalzen. Querschnittsabnahme 90%. Stab 4. Derselbe Einkrystallstab bis zur Zertrümmerung ausgewalzt (Ausschnitt). Querschnittsabnahme 99%. Die Fließfiguren sind trotz stärkster Deformation wie bei den vorangehenden Bildern noch in voller Deutlichkeit wahrzunehmen. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

nimmt dann in der Regel die Gestalt einer flämischen Säule an, deren Form um so weniger ausgeprägt wird, je stärker der Grad der Verfestigung ist. Fig. 10 zeigt dies an einem weitgehend beanspruchten und nachträglich tordierten Aluminiumeinkrystall.

Stärker treten diese Verformungseinflüsse dagegen bei unbeanspruchten Einkrystallen auf. In wie hohem Maße zylindrische Einkrystalle durch Torsion verformt werden, zeigt anschaulich die Fig. 11. Außer den stark ausgeprägten schraubenförmig verlaufenden Rippen sind an den Proben noch mehrere parallel zu diesen verlaufende Furchen sichtbar. Diese Furchen sind, wie durch Einritzen eines Netzes an der Oberfläche der Proben leicht festgestellt werden kann, durch starkes Einschnüren entstanden. Auch diese Verformungserscheinungen verlaufen nach einer bestimmten Gesetzmäßigkeit und lassen sich krystallgeometrisch im voraus bestimmen.

So verschieden die beobachteten Reflexionswirkungen an überelastisch beanspruchten Krystallen sind, so ist ihre Mannigfaltigkeit einzig und allein in der Ausgestaltung des Fließfeldes und den damit verbundenen Störungen im gesetzmäßigen Krystallaufbau begründet. Man kann sich wohl nicht der Tatsache verschließen, daß diese Erscheinungen mit Störungen im Raumgitteraufbau in engstem Zusammenhang stehen und daß in ihnen ein Ausdrucksmittel für diese Störungen zu erblicken ist.

Versuche, die Störungserscheinungen in der gesetzmäßigen Reflexion in anderer Weise, z. B. durch die Annahme von Krystallzertrümmerungen deuten zu wollen, sind ergebnislos, auch dann, wenn angenommen wird, daß sich die Krystalltrümmer unter der Einwirkung des Fließens in irgend einer Weise gesetzmäßig anordnen. Torsionsversuche an Vielkrystallproben zeigen nämlich die beschriebenen Verformungserscheinungen nicht. Dies veranschaulicht die Fig. 12 an einer Vielkrystallprobe, deren Torsionszahl den Proben 10 und 11 entspricht. Bezeichnend ist, daß solche Vielkrystallstäbe stets ihre zylindrische Form unverändert beibehalten, während Einkrystalle selbst nach vorangegangenen starken Beanspruchungen sich in gesetzmäßiger Weise verformen.

Fig. 13, 14 und 15 veranschaulichen die Gefügeausbildung eben dieser 3 Versuchsstäbe im Längsschnitt. Der vorgereckte obere Krystallstab zeigt ähnlich wie der nur tordierte Stab ein mannigfaltig ausgestaltetes Fließbild. Bemerkenswert ist, daß auch die Vielkrystallprobe ein geordnetes, wenn auch sehr verwaschenes Fließbild zeigt; dies hängt mit einem bevorzugten Fließen im einer bestimmten Achsenrichtung zusammen.

Diesen eindringlichen Tatsachen gegenüber erblickt die Translationshypothese auch in der von POLANYI weiter entwickelten Form das Wesen des Fließens noch immer in Parallelverschiebungen der Krystallite. Daneben werden innere Verknüllungen und Verwackelungen zur Erklärung mit herangezogen, von anderer Seite werden meist auch materielle Krystallitenzertrümmerungen erwogen. Es wäre zweckmäßig, wenn auch von anderer Seite in all diesen Fällen die metallographische Forschung stärker herangezogen würde.

Fig. 10. Stark gestreckter und darauf tordierter Einkrystallstab aus Aluminium. Die Krystallnatur kennzeichnet sich noch durch die gesetzmäßige Verformung des Stabes.

Fig. 11. Torsionsbild eines Aluminiumeinkrystallstabes, der keine vorangegangene Streckung erlitten hatte.

Fig. 12. Torsionsbild eines Vielkrystallstabes aus Aluminium, der seine zylindrische Form unverändert beibehalten hat

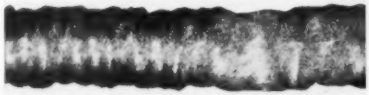


Fig. 13.

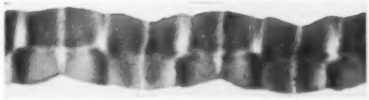


Fig. 14.

Fig. 15.

Fig. 13—15. Längsschnitte der in den Fig. 10, 11 und 12 wiedergegebenen Stäbe. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

Methodik der Röntgenanalyse.

Es wurde schon früher[1]) zu zeigen versucht, in welcher Weise sich die Krystallitenaufteilung im Lauediagramm darstellt. Fig. 16 zeigt das von

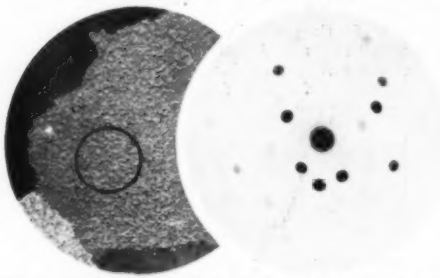


Fig. 16. Aluminiumkrystall mit eingezeichnetem Durchstrahlungsfeld. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure. Rechts: Laue-Diagramm des Aluminiumkrystalls.

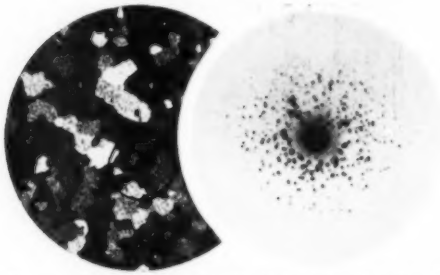


Fig. 17. Aluminiumblech mit eingezeichnetem Durchstrahlungsfeld (ca. 120 Krystalle). Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure. Rechts: Laue-Diagramm des Aluminiumbleches.

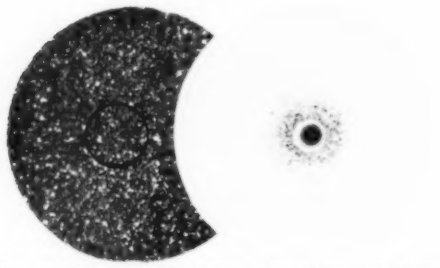


Fig. 18. Aluminiumblech mit eingezeichnetem Durchstrahlungsfeld (ca. 2000 Krystalle). Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure. Rechts: Laue-Diagramm des Aluminiumbleches.

einem Aluminium-Einkrystall erhaltene Lauediagramm, das schön ausgebildete Zonenkreise aufweist, daneben den dazugehörigen Krystalliten mit eingezeichnetem Durchstrahlungsfeld. In welcher Weise das Diagramm beeinflußt wird, wenn ein Krystallhaufwerk in das Durchstrahlungsfeld eingeführt wird, zeigt die untere Fig. 17, das der mittleren Korngröße nach 120 Krystalle umfaßt. Das Diagramm zeigt zahlreiche verworren angeordnete Reflexionspunkte. Entsprechend der geringen Größe der Krystalle stellen sich die Reflexionspunkte in dem Diagramm auch als sehr kleine Flecken dar. Fig. 18 mit dem daneben dargestellten Durchstrahlungsfeld zeigt das Lauediagramm eines Krystallkomplexes von etwa 2000 Krystallen. Die Zahl der Reflexionspunkte hat um ein Beträchtliches zugenommen. Den Ergebnissen ist zu entnehmen, daß nach Maßgabe des immer kleiner werdenden Korns die Zahl der Reflexionspunkte stetig steigt.

Würde nun das Wesen des Fließens in einer Krystallaufteilung zu suchen sein, so müßte die plastische Beanspruchung eines Metalles zu eben den gleichen Ergebnissen führen. Wie die folgenden Figuren aber lehren, gelangt man bei der überlastischen Beanspruchung von Metallkrystallen zu ganz anderen Ergebnissen. Die einzelnen Reflexionspunkte werden zu Strahlen verzerrt, die Lauefigur zeigt deutlich ausgeprägten Asterismus. Je nach der Orientierung der Krystalle werden gemäß den Fig. 19, 20 u. 21 verschiedene Figuren erhalten.

Die in desen Bildern auftretenden Verzerrungen der Reflexionsprodukte zu bestimmten Sternfiguren ist ein Kennzeichen von Raumgitterstörungen, die mit der überelastischen Beanspruchung einhergehen. Überall dort, wo Krümmungen und Wölbungen der Netzebenen im Spiele sind, tritt als kennzeichnende Erscheinung im Lauediagramm der „Asterismus" auf. Im übrigen kann der Asterismus auch bei Krystallen von geordnetem Gitteraufbau erhalten werden, wenn der Krystall während der Exposition in stetige Drehbewegung versetzt wird, wodurch im Prinzip die Wirkungsweise einer gewölbten Fläche künstlich nachgeahmt wird. Sehr schön kann diese Erscheinung, wie GROSS[1]) gezeigt hat, auch an gebogenen Glimmerplättchen beobachtet werden, die nach dem Aufhören des äußeren Zwanges normale Lauediagramme zeigen.

Vielfach wird noch die Anschauung vertreten, daß der Asterismus auch durch Krystallzertrümmerungen hervorgerufen werden kann. Diese hypothetische Annahme ist aber noch unerwiesen, auch kann ohne Ausnahme Gegenteiliges stets beobachtet werden. Bei der experimentellen Bestätigung dieser Angaben ist nur sorgsam darauf zu achten, daß man Stoffe auswählt, die als verbürgt unplastisch gelten können. Bei Gips, Steinsalz und Kalkspat sind die Einflüsse der Plastizität bereits so groß, daß sie stets zu deutlich nachweisbaren Raumgitterstörungen führen. Werden Krystalle dieser Mineralien durch Deformation in ein zusammenhängendes Trümmerhaufwerk übergeführt, so zeigen sie als Beweis der Raumgitterstörung im Lauediagramm stets ausgeprägten Asteris-

[1]) CZOCHRALSKI, Zeitschr. f. Metallkunde 1923, S. 60.

[1]) Zeitschr. f. Metallkunde 1924, S. 18.

mus, daneben je nach der Größe der Trümmerteilchen gelegentlich auch noch deutliche singulare Reflexionspunkte, die bei sehr feinem Korn zu einem Hof zusammenfließen. Bei Gipskrystallen sind die Einflüsse der Raumgitterstörungen bereits so überwiegend, daß eine Krystallzertrümmerung sich im Diagramm, wie Fig. 22 veranschaulicht, nicht mehr bemerkbar macht. Der Krystall wurde senkrecht zu der 010-Ebene zwischen zwei planen Stempeln zusammengestaucht, und zwar wurde seine Höhe um 80% vermindert. Fig. 23 zeigt das gleiche Experlment an einem Aluminium-Einkrystall als Druckflächen diente ein Würfelflächenpaar, die bildeten ein noch gut zusammenhängendes Plättchen. Das Ergebnis dieses Versuches veranschaulicht die Fig. 24. Das Diagramm baut sich aus zahlreichen singulären Reflexionspunkten auf, die von den gröberen Krystalltrümmern herrühren. Außerdem weist es einen deutlich ausgeprägten Hof auf, der die Anwesenheit staubfeiner Krystallite verrät. Der Asterismus ist sehr schwach ausgeprägt und läßt, wenn auch auf sehr geringfügige Raumgitterstörungen schließen. Die Krystalliten-anzahl in Durchstrahlungsfeld betrug der mittleren Größe nach ungefähr eine Million Individuen.

Die aus den Lauediagrammen gewonnenen Er-

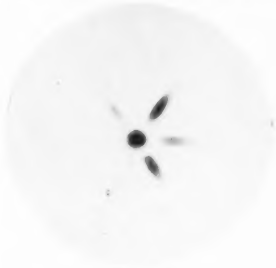


Fig. 19.

Fig. 20.

Fig. 21.

Fig. 19—21. Laue-Diagramme stark beanspruchter Aluminiumeinkrystalle verschiedener Orientierung.

Fig. 22. Laue-Diagramm eines gestauchten Gipskrystalls. Höhenabnahme 80%.

Fig. 23. Laue-Diagramm eines gestauchten Aluminiumkrystalls. Höhenabnahme 80%.

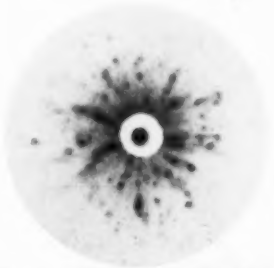


Fig. 24. Laue-Diagramm eines gestauchten Siliciumkrystalls. Höhenabnahme 80%. Die Deformation hat zur Krystallzertrümmerung geführt.

Höhenabnahme bei dem Druckversuch betrug ebenfalls 80%. Eine Zertrümmerung macht sich in dem Lauediagramm genau so wenig bemerkbar, wie in dem Diagramm des um den gleichen Betrag deformierten Gipskrystalls.

Ganz anders liegen nun die Verhältnisse, wenn man diesen Versuch mit verbürgt spröden Materialien durchführt. Hierfür kommen u. a. in Frage Stoffe wie Quarz, Bor, Arsen, Antimon, Schwefel und das Silicium. Zur Bestätigung des Gesagten wurde ein Silicium-Einkrystall parallel zu einer Spaltfläche in der oben angegebenen Weise zusammengestaucht; die Höhenabnahme betrug wie bei den beiden ersten Versuchen 80%. Die Trümmer kenntnisse lassen also zwei deutlich verschiedene Gruppen von Stoffen unterscheiden, und zwar einerseits solche, die dem Lauediagramm deutliches asteristisches Gepräge verleihen, anderseits solche, denen dieses Gepräge fehlt. Stoffe der ersten Art sind durch einen bestimmten Plastizitätsgrad charakterisiert, während die der zweiten Art als typisch spröd und unplastisch anzusehen sind. Wäre der Asterismus eine Folge der Zertrümmerung und besondes der Anordnung dieser Trümmerteilchen, so müßten alle überelastisch beanspruchten Stoffe ohne Ausnahme im Lauediagramm Asterismus aufweisen, was durch das Experiment nicht bestätigt wird.

V. Methodik der dislozierten Reflexion. Verwerfung der Krystallebenen.

Die mitgeteilten Ergebnisse dürften also schon genügen, um die Raumgitterstörungen, die mit der Deformation von verfestigungsfähigen Metallkrystallen stets einhergehen, hinreichend zu begründen. Um die Frage der inneren Fließvorgänge zu fördern und ohne sich in wissenschaftlich noch nicht ganz einwandfrei erwiesene Betrachtungen zu verlieren, dürfte es wohl aber zweckmäßig sein, neben der Röntgenmethode tunlichst noch andere Prüfungsmethoden zur Klärung dieser sehr verwickelten Vorgänge anzuwenden. Eine sichere Führung gewährt eine physikalische Erscheinung, die als dislozierte bzw. topische Reflexion von dem Verfasser wiederholt beschrieben worden ist. Bekanntlich kann durch die topische Reflexion die Orientierung der Metallkrystallite in bequemer Weise bestimmt werden.

In Fig. 25 ist ein Aluminiumstab, der aus drei Krystallen besteht, im Längsschnitt veranschaulicht. Die einzelnen Krystallfelder sind durch Ätzen bloßgelegt worden. Im Bereiche der einzelnen Krystallfelder kann gemäß der Figur einheitliche homogene Reflexion wahrgenommen werden. Durch eingehendes Studium der Wechselbeziehungen der Reflexionsintensität konnte festgestellt werden, daß das Maximum der Reflexionsintensität in der Würfel-, das Minimum in der Richtung der Oktaeder- und die mittlere Reflexionsintensität in der Richtung der Dodekaedernormalen liegt. Man kann also auf diese Weise die Orientierung eines Metalles aus dem Maß seiner Reflexionsintensität ableiten. Anderseits macht sich jede Störung im gesetzmäßigen Aufbau des Krystalliten dadurch bemerkbar, daß die Reflexionsintensität von Stelle zu Stelle verschieden wird.

Dies sei an einem Aluminiumkrystall veranschaulicht. Wird ein Aluminium-Einkrystallstab von der Form eines vierseitigen Prismas, dessen Begrenzungsflächen den Würfelflächen entsprechen und der nach dem Anätzen einheitliche Reflexion zeigt (Fig. 26), einem Torsionsversuch unterworfen, so zeigt er nach erneutem Ätzen nicht mehr einheitliche Reflexion, sondern die Reflexionsintensität wechselt, gemäß Fig. 27 von Stelle zu Stelle, und zwar nach Maßgabe des Torsionsgrades.

Daß es sich hierbei um keine Oberflächenwirkung handelt, kann leicht dadurch nachgewiesen werden, daß man den Stab der Länge nach aufschneidet und nach dem Schleifen und Ätzen auf

Fig. 25. Fig. 26. Fig. 27. Fig. 28. Fig. 29.

Fig. 25. Einkrystallstab aus Aluminium mit zwei anders orientierten Nachbarkrystallen. Längsschnitt. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

Fig. 26. Aluminiumeinkrystallstab, von Würfelflächen begrenzt. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

Fig. 27. Der in Fig. 26 dargestellte Krystall nach der Torsion um 360°. Die Würfelfläche gibt sich nach jeder Viertel-Umdrehung durch ein Reflexionsmaximum zu erkennen. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

Fig. 28. Der in Fig. 27 dargestellte Krystall im Längsschnitt, bei dem die Reflexionsmaxima der Würfelflächen die gleiche Anordnung zeigen. Geätzt mit Flußsäure-Salzsäure.

Fig. 29. Modell einer durch Torsion verdrehten Würfelfläche.

sein Gefüge hin prüft. Wie die Fig. 28 zeigt, wechselt auch im Längsschnitt die Reflexionsintensität ebenso wie an der Oberfläche von Stelle zu Stelle. Durch diesen Versuch ist also erwiesen, daß die Würfelfläche des Krystalls aus ihrer ursprünglichen Lage in gesetzmäßiger Weise herausgedreht worden ist. Nach jeder Vierteltorsion wird in regelmäßiger Wiederholung der Reflex der Würfelfläche angezeigt.

Werden in regelmäßigen Abständen Normale zu der auf diese Weise verdrehten Würfelfläche gefällt, so lassen sie sich zu einer wendeltreppenartigen Ebene verbinden. Eine ursprünglich ebenmäßige Würfelfläche wird also bei der Torsion zu einem Band, gemäß Fig. 29 verformt. Vergleicht man den auf diese Weise ermittelten Verdrehungsgrad der Würfelfläche mit denen der Torsion, so kann man eine völlige Übereinstimmung der Zahlen feststellen, wie aus der Zahlentafel 1 hervorgeht. Dieser Versuch beweist also zunächst, daß ein tordierter Aluminiumkrystall sich so verhält, als ob mit der Torsion eine proportionale Raumgitterstörung einherschreiten würde.

In der topischen Reflexion liegt also offenbar ein Mittel vor, das gestattet, die Raumgitterstörungen

Zahlentafel 1.

Torsion °	Topometer °	Torsion °	Topometer °
0	5	225	220
45	50	270	280
90	92	315	315
135	135	360	360
180	180		

beim Fließen eines Krystalls genau zahlenmäßig verfolgen zu können. Man kann sie also mit gewissen Einschränkungen, auf die noch zurückzukommen sein wird, auch als Mittel zur quantitativen Bestimmung des vorangegangenen Beanspruchungsgrades verwenden. (Schluß folgt.)

Besprechungen.

Handbuch der Entomologie. Herausgegeben von Chr. Schröder. III. Band: *Geschichte, Literatur, Technik, Paläontologie, Phylogenie, Systematik der Insekten* von Anton Handlirsch. Jena: Gustav Fischer 1913—1925. VIII, 1202 S. und 1040 Textabbildungen. 16 × 24 cm. Preis geh. 47, geb. 55 Goldmark.

Der Verf. hat durch seine Bearbeitung der fossilen Insekten[1]) in den beiden letzten Jahrzehnten der Wissenschaft von der Stammesgeschichte der Insekten ein neues Gepräge gegeben und dank seiner überragenden Formenkenntnis und seiner begeisterten und begeisternden Darstellungsweise rasch Schule gemacht und eine große Zahl von Anhängern um sich versammelt. Sowohl in den allgemein orientierten zoologischen Sammelwerken und Lehrbüchern, wie in den spezialwissenschaftlichen Untersuchungen über Insekten tritt seitdem seine Anschauungsweise, besonders in Deutschland, in den Vordergrund. Da aber die abweichenden Ausführungen anderer Forscher nicht ausreichend berücksichtigt sind, erscheint es dringend angezeigt, auf diese Verhältnisse bei einer Besprechung des vorliegenden Werkes hinzuweisen.

Aber auch bei grundsätzlich kritischer Stellungnahme soll nicht verkannt werden, daß Verf. es verstanden hat, hier ein Werk zu schaffen, dessen Studium, zufolge einer gegenüber dem Handbuch der fossilen Insekten im allgemeinen vorsichtigeren Zurückhaltung in stammesgeschichtlichen Fragen, durch persönliches Gepräge erfrischend wirkt und daher jedem dringlich anzuraten ist, der genügend geschult ist, um sich ein selbständiges Urteil auch dort zu bilden, wo die Darstellung die Trennung von Hypothese und Theorie, von subjektiver Auffassung und objektiver Bewertung nicht deutlich macht.

In der geschichtlichen Einführung beschränkt sich Verf. auf eine lapidare Skizzierung des Forschungsganges der allgemeinen Entomologie, wobei er einerseits Aristoteles, Linné und Latreille, andererseits Lamarck, Darwin und Haeckel gebührende Berücksichtigung angedeihen läßt und nicht versäumt, seinem Lehrer Fr. Brauer, dem Begründer der modernen Insektenphylogenie, ein würdiges Denkmal zu setzen.

Das 2. und 3. Kapitel sind technischen Inhaltes und im 7. Kapitel inbetreff der Fossilien ergänzt worden. Die vom Verf. gegebene Zusammenfassung ist recht willkommen; bei Besprechung des „Sammelns" wäre m. E. noch ein kurzer Hinweis auf die Sammelweisen ökologischer und phänologischer Forschung erwünscht gewesen.

Handlirsch sieht mit Recht in der ernsthaften Systematik die Grundlage aller biologischen Forschungen. Sein Kampf gegen alle die wahre Systematik diskreditierenden Elemente ist leider nur zu berechtigt, und es ist sehr zu begrüßen, daß H. auf Grund seiner eigenen reichen Erfahrungen Vorschläge macht, sowohl die Systematik selbst wie ihr Hilfsmittel, die Nomenklatur, unter Betonung des Zweckcharakters in neue gesundere Bahnen zu lenken. Er weist nachdrücklich auf die Notwendigkeit hin, über der Spezialisierung in der Systematik die Synthese nicht zu vergessen. Er bringt auch sehr beachtenswerte Ausführungen über die praktische Handhabung der systematischen Kategorien, besonders des Spezies- und Gattungsbegriffes, und predigt mit beredten Worten eine Abkehr von der modernen Gattungsspalterei, die oft genug nur der Eitelkeit der Autoren diene. Bei der Auseinandersetzung über mono- und heterophyletische Entwicklungsweise bekennt H., daß eine Hetero- oder Polyphyletie in dem Sinne, daß aus Verschiedenem Gleiches entstehe, wohl ausgeschlossen sei, und mit Recht zieht Verf. daraus die Schlußfolgerung, daß überall dort, wo Heterophyletie erkannt wird — selbst auf die Gefahr hin, daß derartige, einander ähnliche aber in der Herkunft verschiedenwertige Einheiten nicht „determiniert" werden können — eine Trennung vorgenommen werden müsse. In Übereinstimmung damit ist für H. nur dasjenige System ein natürliches und zugleich phylogenetisches, dessen Gruppen beliebiger Stufung keine heterogenen Elemente enthalten. Hieran wird grundsätzlich nichts geändert, wenn Verf. neben der monophyletischen divergenten auch eine (gleichzeitige oder zeitlich unterbrochene) Parallelentwicklung

[1]) Handlirsch, Die fossilen Insekten und die Phylogenie der rezenten Formen. Ein Handbuch für Paläontologen und Zoologen. Leipzig: Engelmann 1906/8.

mehrerer Einheiten bestimmter Stufe (Individuum, Spezies, Genus) zu einer nächsthöheren Einheit annimmt. Wenn in einem solchen Vorgang aber eine Durchbrechung des monophyletischen Prinzipes angenommen sein sollte, so glaubt Ref. darin einen inneren Widerspruch zu letzterem sehen zu müssen.

Im Gegensatz zu seinem Handbuch der fossilen Insekten hat Verf. durch Rückstufung vieler dort aufgestellter Kategorien den Anschluß an die heute vorherrschende Systemgliederung wiedergefunden. Auch in der Beurteilung der stammesgeschichtlichen Verwandtschaft der Hexapoden als Gesamtheit ist H. vorsichtiger geworden und neigt heute wieder der Annahme ihrer monophyletischen Entstehung zu. In der Ablehnung des Dogmas von der Herkunft der Insekten aus der „Anneliden-Peripatus-Myriopoden-Reihe" stimmt Verf., ohne es zu sagen, mit dem Ref. und einigen ausländischen Forschern (Hansen, Folsom, Carpenter u. a.) überein[1]).

Die vom Verf. ausgearbeiteten Übersichten über die Kopf- und Körpergliederung der Arthropoden, welche zum Beweise einer direkten Herkunft der Insekten von Trilobiten (unter Zwischenschaltung ausgestorbener hypothetischer Bindeglieder) dienen sollen, entsprechen aber leider nicht mehr dem heutigen Stande der Forschung. Verf. läßt den Insekten nur 6 Kopfmetamere zukommen, streicht also das Maxillularsegment, von dessen Vorhandensein bereits eine flüchtige Untersuchung von Machilis überzeugt[2]). Infolgedessen sind dem Verf. auch die Übereinstimmungen entgangen, welche in der Kopfbildung zwischen den arthrostraken Krebsen und den Insekten (sowie den übrigen tracheaten Antennaten) bestehen, möglicherweise aber auch mit den Trilobiten bestanden haben mögen. Ebenso ist H. entgangen, daß die arthrostraken Krebse mit den Insekten (und gewissen Diplopoden) im teilweisen Besitz von zweigliedrigen Coxen übereinstimmen, und daß die Selbständigkeit der Unterkiefer-Außenlade als Beinglied bei den niederen Insekten hierauf zurückzuführen ist, also, entgegen H., *keine* Anhaltspunkte für eine Interpretation des Kiefertasters der Insekten als Homologon der Außenlade der Krebsbeine bietet. Die Unterscheidung der thysanuroiden (bzw. krusterartigen) und orthopteroiden Mandibel[1]) hat H. nicht übernommen, sie hätte ihm aber ein willkommener Stützpunkt für die auch von ihm vertretene Auffassung der Krebsverwandtschaft der Insekten sein können. Verf. lehnt folglich auch des Ref. Einteilung der Pterygoten in Archi- und Metapterygoten ab, dadurch zugleich den fundamentalen Gegensatz (nach dem Bau der Mandibel) zwischen den Apterygoten und Metapterygoten und die zwischen beiden vermittelnde Stellung der Archipterygoten übersehend. Wenn H. weiter meint, daß die thysanuroide Mandibel bei den Ephemeriden auf die Larvenform beschränkt sei, so ist übersehen, daß diese Grundform der Mandibel bei diesen Insekten trotz weitgehender Rückbildung der Mundwerkzeuge auch im Imaginalzustande nachweisbar geblieben ist. Wenn ferner vom Verf. angenommen wird, daß die Paläodictyopteren vielleicht als Larven thysanuroide, als Imagines orthopteroide Mandibeln besessen haben könnten, so sei dem entgegengehalten, daß es gerade ein Charakterzug der niedersten Insekten ist, daß sie *keine* Metamorphose der Mundwerkzeuge durchlaufen, also homoiognath[1]) sind (auch die Odonaten!). Es bleibt also der früher von mir erhobene Einwand bestehen, daß die Paläodictyopteren so lange nicht als Vorläufer *aller* rezenten Fluginsekten angesehen werden können, als ihre Mandibelstruktur nicht bekannt ist. Natürlich ist es sehr wohl möglich, daß diese interessanten Urflieger dieselben Mandibeln besessen haben wie die Ephemeriden, dann gehören sie eben mit diesen zu meinen Archipterygoten. Dann ist aber zugleich die strahlenförmige Ableitung der übrigen Ordnungen der Fluginsekten von ihnen im Sinne von H. illusorisch, da die Metapterygoten monophyletisch entstanden sein dürften.

Leider sind die sonst recht ausführlichen Gruppenbeschreibungen des Verf. hinsichtlich der Mundteile dürftig, auch nicht immer fehlerfrei (u. a. Odonaten: Taster statt Außenlade des Unterkiefers; Thysanopteren: Mandibeln und Maxillen vertauscht; Puliciden: Mandibel statt Unterkiefer-Innenlade). Es nimmt daher auch nicht Wunder, wenn H. die Möglichkeit einer Ableitung der Thysanuren (bzw. der Apterygoten überhaupt) von niederen Pterygoten erörtert, obwohl das schon deshalb gänzlich ausgeschlossen erscheinen muß, weil Machilis als altertümlichste Form 4 Kieferpaare und Außenäste (Styli) an sämtlichen Beinpaaren vom 2. thorakalen bis zum 10. (letzten) abdominalen besitzt, eine derartige Häufung primitiver Charaktere aber bisher für kein einziges Pterygot nachgewiesen ist.

Die Darstellung der Gliederung des Insektenhinterleibes (Telson und 11 — statt 10 — primäre Abdominalsegmente) fußt auf den veralteten Anschauungen der Heymonsschen Schule. Aus demselben Grunde werden die Cerci als Anhänge eines angeblichen primären 11. Hinterleibsringes angesehen, obwohl sie vergleichend morphologisch nur die den Stylis homologen Exopodite des 10. abdominalen Extremitätenpaares sein können. Damit hängt es weiter zusammen, daß die Schilderung des Anogenitalapparates der Insekten vom vergleichend-morphologischen Standpunkt aus nicht befriedigt. Auch fehlt jeder Hinweis darauf, daß die Pleuren heute als subcoxale Beinregion bewertet werden; irrtümlich ist die Gleichstellung der Subcoxa mit dem Trochantinus, der nur ein sekundäres Schnürstück von ihr vorstellt[2]).

Daß bei solchen Voraussetzungen die stammesgeschichtliche Beurteilung und Umgrenzung der Insektenordnungen durch H. von derjenigen des Ref.[3]) in vieler Hinsicht abweicht, dürfte nicht überraschen. Vielleicht war Verf., der im Anschluß an Brauer die früheren Versuche einer Einteilung der Insekten nach den funktionalen Verschiedenheiten der Mundteile als unzureichend erkannt hatte, nicht geneigt, die neueren Gesichtspunkte, die vorstehend zum Teil angedeutet sind, zu überarbeiten. Aber es widerspricht m. E. den eingangs geschilderten Forschungsgrundsätzen des Verf., wenn auf der einen Seite Insektengruppen mit völlig gleich spezialisierter Mundstruktur als Ordnungen getrennt werden (z. B. die heteropteren und homopteren Rhynchoten), auf der anderen Seite prinzipielle Gegensätze im Bau der Mundteile nicht für ausreichend zur Trennung erachtet werden (Thysanuren mit 4, Zygentomen mit 3 Kieferpaaren). Dabei liegt es dem Verf.

[1]) Vgl. Börner, Neue Homologien zwischen Crustaceen und Hexapoden. Die Beißmandibel der Insekten und ihre phylogenetische Bedeutung. Archi- und Metapterypota. Zool. Anz. **34**. 1909.

[2]) Vgl. Börner, Die Gliedmaßen der Arthropoden. In: Handbuch der Morphologie von A. Lang. Bd. IV. Jena 1914.

[1]) Vgl. Brohmer, Fauna von Deutschland. 2. Aufl., S. 121. Leipzig 1920.

[2]) Siehe Anmerkung 1. Spalte Note 2.

[3]) Börner, Zur Systematik der Hexapoden. Zool. Anz. **27**. 1904.

fern (S. 100), „die systematische und phylogenetische Bedeutung jener Fortschritte, welche in jüngerer Zeit auf dem Gebiete der vergleichenden Morphologie erzielt wurden, irgendwie in Frage zu stellen"; er ist sogar davon überzeugt, daß „die Morphologie im weiteren Sinne nach wie vor in erster Linie berufen erscheine, an der Lösung der vielen noch strittigen stammesgeschichtlichen Fragen mitzuwirken". Warum aber diese neuzeitlichen Ergebnisse der vergleichenden Morphologie teils nicht gebührend berücksichtigt, teils überhaupt nicht erwähnt, geschweige denn zur Grundlage der Betrachtungen gemacht worden sind, wird nicht ausgeführt.

Der Verdacht liegt nahe, daß der Hauptgrund in einer zwar durch diskutorische Behandlung der Gesamtorganisation verdeckten, aber nichts desto weniger offenkundigen einseitigen Bevorzugung der *Flügel* gelegen ist.

Es ist zuzugeben, daß bei Bearbeitung fossiler Insektenreste die Organisation der Flügel wohl stets den Ausschlag über die systematische Bewertung geben wird, weil diese Organe im allgemeinen besser erhalten sind als andere Körperteile oder die allein vergleichbaren Überreste bilden. Dieser Grund entfällt aber gänzlich bei der phylogenetischen Behandlung der rezenten Insekten. Dabei soll auch nicht verkannt werden, daß die Struktur der Flügel und ihre Aderung in sehr vielen Fällen ein bequemes und sicheres Hilfsmittel bei der Bestimmung von Fluginsekten ist. Es ist aber ganz entschieden die Möglichkeit zu bestreiten, aus der Aderung der Flügel phylogenetische Verwandtschaften zu erschließen, wenn die übrige Organisation der fraglichen Formen zu anderen Schlüssen führt. Es sind heute bereits zahlreiche Fälle di- oder polyphyletischer Entwicklung desselben Geäders (als Ausdruck generischer Übereinstimmung) bekannt, so daß hier auf eine eingehendere Beweisführung verzichtet werden kann. Auch die sekundär flügellosen Formen sprechen gegen die überragende phyletische Bedeutung des Flügelgeäders. H. kennt diese Gefahren aus eigener Praxis, ist ihnen aber leider auch oft erlegen.

Alles in allem resultiert ein Gesamtsystem, das zwar durch die einseitig souveräne Beherrschung des Stoffes einheitlich wirkt, nichts desto weniger aber an vielen Stellen, auch im einzelnen, kritischer Überarbeitung bedarf. Hier kann darauf nicht näher eingegangen werden, zumal fast 800 „Mihi"-Einheiten im vorliegenden Werk und über 1000 solcher im Handbuch der fossilen Insekten zur Berücksichtigung stehen. Um so mehr ist es zu bedauern, daß Verf. nicht doch entgegen seiner im Nachwort gegebenen Begründung Spezialisten zu Rate gezogen und dadurch vermieden hat, daß vielfach wesentliche Unterschiede zu gering, umgekehrt geringe zu hoch bewertet worden sind.

Die Illustration des Werkes ist an Habitus- und Flügelzeichnungen ziemlich reichhaltig. Die Rekonstruktion fossiler Formen wirkt oftmals einigermaßen „rezent" und täuscht, ohne Zuhilfenahme des Handbuches der fossilen Insekten, die Überlieferung vortrefflich erhaltener Reste vor. Der Wert der ausführlichen Bestimmungstabellen für Ordnungen, Familien und Unterfamilien der Insekten ist infolge Anpassung an das gegebene System leider begrenzt.

Kann demnach der dritte Band des Schröderschen Handbuches m. E. nicht als Spiegelbild für den heutigen Stand der Wissenschaft von System und Phylogenie der Insekten gelten, so bleibt nichtsdestoweniger die Zusammenfassung des riesigen Materials durch den Verf. dankenswert. C. Börner, Naumburg (Saale).

NOPCSA, FRANZ, BARON, **Die Familien der Reptilien.** Fortschritte der Geologie und Paläontologie. Herausgegeben von W. Soergel in Tübingen. 2. Heft. Berlin: Gebr. Borntraeger 1923. 210 S. und 6 Tafeln. 16 × 25 cm. Preis 15 Goldmark.

Einer unserer besten Kenner der fossilen Reptilien, dem wir schon eine Reihe wichtiger Mitteilungen und Abhandlungen über diese wichtige Gruppe der fossilen Wirbeltiere verdanken, hat mit diesem Werke einen außerordentlich glücklichen Griff getan. Das rapide Anwachsen des Untersuchungsmateriales, verbunden mit einer Flut von Publikationen über fossile Reptilien, die selbst für den Fachmann nicht immer leicht zugänglich sind, hat in der letzten Zeit zwar über eine große Zahl von Problemen Licht verbreitet, aber gleichzeitig in Fachkreisen den Wunsch ausgelöst, einmal unser gesamtes Wissen über diese Gruppe sozusagen in kondensierter Form zusammengefaßt zu sehen. Das war begreiflicherweise nur dann möglich, wenn sich ein Forscher einer solchen großen Aufgabe widmete, der auf allen Gebieten des schwierigen Stoffes in gleicher Weise zu Hause ist. Das ist bei dem Verfasser der Fall, und so konnten alle ihm näher stehenden Fachgenossen schon vor dem Erscheinen des vorliegenden Buches seinen Darlegungen mit großer Spannung entgegensehen.

Für seine Erörterungen über die stammesgeschichtlichen Beziehungen der einzelnen Reptilienstämme untereinander und innerhalb derselben hat der Verfasser einen neuartigen, außerordentlich klaren und sicheren Weg eingeschlagen. Er greift aus jeder der vielen Stammeslinien der lebenden und fossilen Reptilien eine einzelne als Haupttype heraus, gibt ihre Charakteristik, und reiht an die kritische Besprechung der betreffenden Stammesmerkmale eine sehr eingehende Erörterung der Geschichte der Familie oder Ordnung an. So wird beispielsweise aus den Krokodiliern der Typus Gavialis herausgegriffen und an dessen Besprechung die wichtigsten Daten über die Geschichte des Stammes und dessen Beziehungen zu verwandten Stämmen angereiht. Ebenso erscheint Pteranodon, als hochspezialisierte Type, als Vertreter der Flugsaurier; Tyrannosaurus, Diplodocus, Triceratops und Corythosaurus als gut ausgewählte Beispiele für die entsprechenden Stammeslinien der Dinosaurier. Daß das Buch eine Fülle von kritischen Bemerkungen von hohem wissenschaftlichen Werte enthält, macht es zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel für jeden Forscher, der sich mit fossilen und lebenden Reptilien beschäftigt. Wir sind ja allmählich über die Zeit hinausgekommen, in der ein scharfer Schnitt zwischen der Zoologie und der Paläozoologie gezogen wurde; wer heute Morphologie und Stammesgeschichte der Wirbeltiere treiben will, kann an den Ergebnissen der paläontologischen Forschungen nicht mehr entweder achselzuckend oder bestenfalls mit einer höflichen Verbeugung vorübergehen, sondern muß, wenn er es mit seiner Forschung wirklich ernst meint und nicht von vornherein auf eine Mitarbeit an dem Ausbau der beiden genannten Forschungsrichtungen verzichten will, die Ergebnisse berücksichtigen, zu denen die Paläontologie bei der Verfolgung dieser Probleme kommt. Dieser Grundsatz gilt ja ganz besonders für die wissenschaftliche Untersuchung der Reptilien, von denen in der Gegenwart mit Ausnahme der Schlangen, Eidechsen und Landschildkröten nur mehr die traurigen Überreste einer Tiergruppe am Leben sind, die in der paläozoischen Epoche ihren Aufschwung nahm und in der mesozoischen Epoche eine außerordentliche Blüte erreichte, aber in der überwiegenden Mehrzahl ihrer Stammeslinien erloschen ist.

Stimmt auch der Referent in einigen Einzelheiten prinzipiell mit dem Verfasser nicht überein, so muß er doch bekennen, daß er noch niemals ein Werk über dieses Thema in die Hand bekommen hat, in dem er, Seite für Seite und Absatz für Absatz, mit den Ausführungen des Verfassers so weitgehend übereinstimmt wie im vorliegenden Falle. Er darf verraten, daß NOPCSAS „Familien der Reptilien" auf seinem Schreibtische als ein fast täglich zur Hand genommenes Nachschlagebuch liegen, dessen gründliche Durcharbeitung ihn immer wieder mit Freude erfüllt.

Ein besonderer Abschnitt ist der kritischen Besprechung der bisher beschriebenen Fährten fossiler Reptilien gewidmet, die unsere Forschungen über diese Lebensspuren auf eine neue Grundlage stellen. Ganz kurz soll erwähnt werden, daß NOPCSA unter den verschiedenen Fährtentypen folgende als die wichtigsten unterscheidet: Salamandroide und stegocephaloide, lacertoide, theromorphoide, rhynchosauroide, crocodiloide, endlich dinosauroide Fährtentypen.

Den Beschluß des Buches bildet ein sehr wichtiges Kapitel: die Evolution der Reptilien. In dem kurzen und knappen Rahmen eines Referates kann auf die zahlreichen neuen und wichtigen Schlußfolgerungen des Verfassers nicht näher eingegangen werden; es sei auch diesbezüglich ein eingehendes Studium empfohlen.

Der Verfasser stellte seinem Buche das Motto voran: *„habent sua fata libelli."* Ich hoffe und wünsche, daß das Geschick dieses Buches das denkbar beste sein möge; es verdient es in hohem Maße. Wenn oft gesagt wird, daß ein viele Bücher und Abhandlungen veröffentlichender Forscher auch in einem langen und arbeitsreichen Leben nur *ein* Buch schreibt, so möchte ich dieses Urteil für *dieses* Buch NOPCSAS unter seinen bisherigen Arbeiten aussprechen. Wenn jedoch ein späteres Werk des Verfassers dieses hier abgegebene Urteil als ein vorschnelles erweisen sollte, so würde dies niemanden mehr freuen als den Referenten.

OTHENIO ABEL, Wien.

Handbuch der Zoologie. Eine Naturgeschichte der Stämme des Tierreiches. Begründet von WILLY KÜKENTHAL †. Unter Mitarbeit zahlreicher Fachgelehrter herausgegeben von THILO KRUMBACH. Berlin und Leipzig: Walter de Gruyter & Co. 1923/24. Liefg. 1: Bogen 1—12 9 Goldmark, Liefg. 2: Bogen 13—26 10,50 Goldmark, Liefg. 3: Bogen 27—32 4,50 Goldmark.

Von dem hier schon kurz angezeigten Handbuche liegen jetzt 3 Lieferungen vor. Sie erlauben ein Urteil über die Art der Anlage des Werkes. Nach dem Begründer soll es sich nicht um ein Handbuch der Zoologie schlechthin handeln, sondern um ein solches, das in der Hauptsache auf die spezielle Zoologie gegründet ist, das „auf dem Boden der realen Tatsachen steht." Vergleichende Gesichtspunkte und manche Teilgebiete (z. B. Physiologie) treten daher mehr in den Hintergrund. Manch einer wird diese Einschränkung bedauern, man muß aber anerkennen, daß auch in der vorliegenden Form das Werk einem dringenden Bedürfnis in der deutschen wissenschaftlichen Literatur abhilft. Für den nach allgemeineren Gesichtspunkten arbeitenden Forscher ist es heute außerordentlich schwierig und zeitraubend, oft sogar unmöglich, sich aus der Spezialliteratur über bestimmte, ihn angehende Tatsachen durch alle Tiergruppen hindurch ein klares Bild zu verschaffen. In dem vorliegenden Handbuch wird ihm von berufenen Spezialisten das Rüstzeug für seine Arbeiten geboten. Natürlich ist es bei zahlreichen Bearbeitern nicht anders möglich, als daß in den einzelnen Abschnitten die Sondergebiete der Autoren etwas in den Vordergrund rücken, bald Morphologie, bald Entwicklungsgeschichte, bald Ökologie (diese am wenigsten) oder Systematik. Die Ausstattung des Werkes verdient alles Lob, die Bildbeigaben sind reichlich (bisher 502!) und zum großen Teil vortrefflich. Sehr zu begrüßen sind die von KRUMBACH eingefügten Verbreitungskarten einzelner Arten und Gattungen, nur wäre zu wünschen, daß sie künftig in etwas größerem Format reproduziert würden. Im einzelnen enthalten die Lieferungen: Protozoen, Schwämme und die Cnidarier bis zum Anfang der Syphonophoren. RHUMBLER gibt eine ausführliche Einleitung in die Protozoen und behandelt ferner Rhizopoden, Ciliaten und Suktorien, JOLLOS die Flagellaten, HARTMANN die Sporozoen. Die Bearbeitung der Schwämme, über die bisher eine moderne Zusammenfassung ganz fehlte, übernahm HENTSCHEL, der Hydroiden und Trachylinen BROCH, der Syphonophoren FANNY MOSER. Es ist mit Sicherheit zu erwarten, daß — bei dem im Verhältnis zum Gebotenen billigen Preise — das Werk nicht nur bald in jeder Bücherei vorhanden ist, sondern auch zum Bücherschatz jedes einzelnen Zoologen gehört.

P. SCHULZE, Rostock.

ABEL, O., **Lehrbuch der Paläozoologie.** 2. erw. Auflage. Jena: Gustav Fischer 1924. XIV, 523 S. und 700 Abbildungen. 16 × 25 cm. Preis 16 Goldmark.

Wie unentbehrlich dem systematisch und phylogenetisch arbeitenden Zoologen wie dem lernenden Studenten die Paläontologie geworden ist, zeigt so recht der Erfolg des Abelschen Lehrbuches, das jetzt nach kaum 3 Jahren in 2. Auflage erscheint. Gegenüber der 1. Auflage hat sich die neue nur wenig geändert. Die Seitenzahl hat sich um etwa einen Bogen vermehrt, die Abbildungen sind z. T. verbessert worden und sind wie der Text mit den neuesten Erfahrungen der Wissenschaft in Einklang gebracht worden.

Die Wirbeltiere kommen gegenüber den Wirbellosen etwas kurz weg, doch hat sie ABEL ja in mehreren Büchern ausführlich behandelt. Von großem Wert und Interesse ist die Übersicht über viele wichtige Spezialisationen der Säugetiere S. 427—429, die den jeweiligen primitiven Zustand den aus ihm hervorgegangenen spezialisierten Zuständen gegenüberstellt. Dadurch wird die Beurteilung eines anatomischen Zustandes bei den rezenten Formen sehr erleichtert. Leider nur muß sich ABEL als Paläontologe im wesentlichen auf die Skelettelemente und das Gebiß beschränken. Sache der Nichtpaläontologen ist es, auf den Gebieten der Weichteile Vollständigkeit zu schaffen.

HANS BÖKER, Freiburg i. Br.

PREISZ, HUGO v., **Die Bakteriophagie.** Jena: Gustav Fischer 1925. 110 S., 36 Abbild. u. 3 Tafeln. 16 × 24 cm. Preis 6 Goldmark.

PREISZ bespricht zunächst vornehmlich auf Grund eigener Untersuchungen die bakteriophagischen Erscheinungen an lebenden Kolonien und das färberische Verhalten der Bakterien dabei im Karbol-Toluidin-Präparat. Diese Methode scheint ihm eine der brauchbarsten zur Aufdeckung allerkleinster Herde der *„Phagie"* bzw. der Wirkung der *„Phagen"*. Es folgen Versuche über das Verhalten phagenfester und phagenloser Bakterien, den Beginn und die Ausbreitung des bakteriophagen Phänomens, ferner über die „taches vierges", deren Gestaltung er auf die mehr oder minder reichliche Aussaat der Bakterien zurückführt. Besonderes Interesse verdient der Nachweis, daß nicht aus jedem „Phagen" (= der letzten Einheit des bakteriophagen Prinzipes) ein tache vierge entstehen muß, sondern daß sich im Bakterienrasen zwischen solchen sterilen Löchern zahlreiche phagenhaltige Punkte

nachweisen lassen. Die Ansicht BAILS und seiner Schüler, daß man große und kleine Löcher rein fortzüchten kann, konnte er nicht bestätigen.

Die weiteren Versuche behandeln den „Tropfversuch", das quantitative Verhalten der Löcher im Bakterienrasen und das Verfahren zum Nachweis der „Phagen".

Bei der Titrierung gibt er der Plattenmethode den Vorzug gegenüber der Bouillonmethode.

Nach Besprechung der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Phagie behandelt er das Wesen des bakteriophagen Prinzipes. Auch er sieht in der Bakteriophagie eine Erkrankung der Bakterienzelle, deren auffälligste Erscheinungsform bzw. Ausgang die Verflüssigung und Auflösung (Verdauung) der Bakterien darstelle; außerdem aber äußere sie sich in einer ganzen Reihe anderer, weniger auffälliger Zeichen, wie Hypertrophie, Degeneration, veränderter Stoffwechsel, die zu einer Auflösung führen können, aber durchaus nicht dazu führen müssen.

Er kommt schließlich zu der Schlußfolgerung, daß alles, was als Wirkung des „Phagen" bekannt ist, sich zur Zeit durch nichts Besseres erklären lasse als durch die Annahme der *Belebtheit* des phagischen Prinzipes.

Auf die einzelnen Punkte der sehr anregenden Preiszschen Arbeit einzugehen, ist hier nicht der Ort; die Arbeit selbst ist das Resultat jahrelanger, sehr mühsamer Untersuchungen, die vieles Neues bringen, aber auch sehr viel schon Bekanntes, da PREISZ das Werk zum größten Teil ohne Kenntnis der erschienenen Literatur schreiben mußte. HANS MUNTER, Berlin.

HELMHOLTZ'S **Treatise on Physiological Optics** Translated from the third German Edition Edited by JAMES P. C. SOUTHALL Professor of Physics in Columbia University Volume II Published by The Optical Society of America, 1924. VIII (I), 480 S. gr. 8° mit 80 + und 3 Tafeln. Zu beziehen durch Professor F. K. RICHTMYER, Secr. of the Opt. Soc. of America, Cornell University, Ithaca, N. Y., Ver. Staaten von Nordamerika, zum Preise von 7 Dollar = 29,40 Goldmark für den einzelnen Band.

Der zweite Band der zuerst auf S. 24/25 dieses Bandes angezeigten Übersetzung des Helmholtzischen Handbuchs ins Englische ist vor kurzem in die Hände des Berichtenden gekommen. Die Vorrede des Herausgebers ist am 1. Oktober des vorigen Jahres unterzeichnet worden.

Auch hier hat die Hauptlast der Übersetzung auf Herrn SOUTHALLS Schultern gelegen, und er ist diesmal von den Herren HENRY LAURENS (§§ 17, 18, 18 A und Nachträge), M. DRESBACH (§§ 22, 23, 24 und 25) sowie L. T. TROLAND und E. J. WALL (§§ 19, 20 und 21) unterstützt worden.

Erweiterungen und Zusätze fehlen auch diesmal nicht. Während in dem ersten Teile dabei Herr DAVENPORT — *nicht* D. H. — HOOKER tätig gewesen war, sind für diesen zweiten Band besonders Herr Professor J. v. KRIES und Frau CHRISTINE LADD-FRANKLIN aufzuführen.

Der erstgenannte hat zu der Lehre vom Kontrast auf S. 300 (hinter S. 253 der deutschen Ausgabe) Arbeiten von R. E. JAENSCH und seinen Schülern besprochen — bei den Titeln stört hier ein mehrfach auftretender Druckfehler *heil* statt *hell*. Auf S. 411 (hinter S. 347 der deutschen Ausgabe und das Sehen der Trichromaten) schiebt sich eine Besprechung namentlich der Hessischen Arbeiten über die Farbensinnstörungen aus den Jahren 20 bis 22; schließlich wird auf S. 422/25 (nach S. 354 der Urausgabe hinter das Sehen der Dichromaten) ein Abschnitt über die Helligkeit verschiedenfarbiger Lichter eingeschoben, und dabei sind namentlich K. PULFRICHS Arbeiten und Geräte besprochen.

Der Beitrag der an zweiter Stelle genannten Dame betrifft die Natur der Farbenempfindungen und ist an den Schluß des ganzen Buches gestellt; als Unterteile sind zu erwähnen die Helmholtzische Theorie, die Helmholtz-Königschen Tatsachen der Farbenempfindung, die Entwicklungslehre von den Farbenempfindungen. Nach der Anm. ¶ auf S. 455 mag noch bemerkt werden, daß sich HELMHOLTZ selber auf dem Internationalen Psychologenkongreß zu London im Jahre 1892 recht beifällig über den Vortrag dieser Dame geäußert hat.

Auch diesem Bande ist der Titel des entsprechenden deutschen Bandes als Untertitel vorgedruckt worden; das Kriesische Vorwort findet man auf S. XVII im ersten Bande. Die Ausstattung ist von gleicher Güte wie vorher, und aus den einleitenden Worten des Herausgebers mag hervorgehoben werden, daß die drei Farbentafeln in unserer Heimat hergestellt wurden.

Eine Quellensammlung für den 2. Band und die Jahre 1911—1924 hat der verdiente Herausgeber auf den S. 469/79 zusammengestellt. Gelegentlich finden sich darin aus deutschen Zeitschriften stammende Titel in englischer Übertragung; sie sind also wohl Besprechungen entnommen. Das eifrige Streben des Herausgebers, dem ihm anvertrauten Werke einen möglichst hohen Grad von Vollständigkeit zu verleihen, wird man sicherlich auch da erkennen, wo ihm die ursprünglichen Arbeiten nicht leicht zugänglich waren.

MORITZ v. ROHR, Jena.

ABEL, OTHENIO, **Die vorweltlichen Tiere in Märchen, Sage und Aberglaube.** Wissen und Wirken, Einzelschriften zu den Grundfragen des Erkennens und Schaffens, Bd. 8. Karlsruhe, G. Braun, 1923. 13×21 cm. Preis 1 Goldmark.

Seine in vielen wissenschaftlichen Werken schon veröffentlichten Deutungen von Drachen, Riesen, Einhörnern, Zaubersteinen, Basilisken und anderen Dingen, welche altertümliche und mittelalterliche Sagen und Märchen und auch den heutigen Volksglauben noch bevölkern, hat ABEL hier, um vieles vermehrt und mit Bildern aus alten Schriften illustriert, allgemeinverständlich zusammengefaßt. Die Sagen beruhen alle auf volkstümlichen Versuchen, die unerkannten paläontologischen Funde zu deuten, und viele dieser Sagen können noch an den übriggebliebenen Resten richtig erkannt werden. So ist das Horn des Einhorns ein Mammuthstoßzahn; die homerische Sage vom einäugigen Polyphemus in Sizilien ist auf den Schädel des dort gefundenen Zwergelefanten mit seiner an der Stirn liegenden Nasenöffnung zu beziehen, die wie eine an der Stirn liegende Augenhöhle erscheint, der Drache hat seinen Schädel als Höhlenbärschädel, seine Gestalt vielleicht als einen Plesiosaurus entpuppen lassen müssen. Die alte Volksmedizin, in Anlehnung an ähnliche Form, Bezeichnung, Geruch und Geschmack, hat homöopathische Heilmittel für Auge, Blase, Nieren aus den Seeigeln, Schnecken, Haifischzähnen und Belemniten bezogen, als Reste der Riesen sind die Knochen ausgestorbener riesiger Vorwelttiere angesehen worden, an die die Phantasie von Drachenkämpfen und Riesentötungen sich angliederte, im weiteren Verlauf bestimmt benannte Helden und Götter als Töter dieser Untiere erfand. Auch heute noch werden Ähnlichkeiten von Konkrementen als wahre Versteinerungen von Lebewesen angeboten, Riesenschlangen in unendlich gesteigerten Größendimensionen von den Reisenden ge-

schildert, ja ganze Bücher darüber von Laien geschrieben, wie die Feuersteinknollen der Rügenschen Kreide aus verhärtetem Urschleim und seinen gallertigen Mollusken und Fischen im Wirbel des Urmeers zu deuten seien. Ich selbst erhielt vor Jahren als versteinerten Schildkrötenkopf eine hübschgeformte Achatdruse aus Westfalen zugesandt, die mit ihrem einen spitzen und anderen stumpfen Ende und zwei seitlichen (Augen-)Öffnungen die Ähnlichkeit mit einem Reptilkopf aufwies, und ein in Südamerika lebender Mann erzählte mir, nach Jahrzehnten noch über die überstandene Lebensgefahr schaudernd, von einem furchtbaren Ritt über eine Ebene mit eigentümlich glattem Boden, der, wie er nachher gehört habe, aus lauter lebendigen Riesenschlangen bestanden habe, und von den Bäumen hätten Schlangen herabgehangen, die zum Glück schliefen, sonst hätten sie Roß und Reiter verschlungen. So erzählt auch ABEL von einem Bergarbeiter, der ihm eine versteinerte Schildkröte verkauft habe, die sich im Laufe der Jahre in dessen Phantasie in einen versteinerten Dragoner mit seinem Pferde verwandelt habe. So wirkt die Phantasie auch heute noch, wo wir die richtige Erkenntnis dieser Funde bereits haben, und wieviel leichter war es möglich, die wunderbarsten Geschichten an Funde anzuhängen, deren Bedeutung nicht etwa aus dem Fund heraus zu erkennen gesucht wurde, sondern die nur dazu gebraucht wurden, in scholastischer Art Beweise für alte, als reine Wahrheit angesehene Überlieferungen wie die vom Drachen und vom Einhorn zu erbringen. Wieviel von altheidnischer Überlieferung noch lebt, zeigt die Sage vom Donnerkeil (der neolithischen Steinaxt), der sieben Klafter tief in die Erde fährt und alljährlich einen Klafter in der Erde nach oben steigt, wie Donars Hammer in die Hand des den Mjölnir schleudernden Gottes zurückflog.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Äther und Relativitätstheorie.

In der englischen Zeitschrift „Nature" vom 18. April S. 566 veröffentlichen A. A. MICHELSON und H. G. GALE die Resultate eines Versuches, den MICHELSON schon 1904 vorgeschlagen aber erst jetzt mit glänzendem Erfolge ausgeführt hat. Ein Lichtstrahl wird in der bekannten, bei allen Interferometern üblichen Weise durch eine mit einem halb durchlässigen, halb spiegelnden Belag versehene Glasplatte in zwei Strahlen zerlegt, die in entgegengesetzten Richtungen durch Spiegel um den Rand einer etwa 24 ha großen Fläche geleitet und nach einmaligem Umlauf miteinander zur Interferenz gebracht werden. Aus dem berühmten, von MICHELSON und MORLEY ausgeführten Versuch, der mehrmals von anderen mit gleichem Erfolge wiederholt worden ist, folgerten die Äther-Gläubigen, daß die Erde an ihrer Oberfläche den Äther mitnähme. Wenn diese Hypothese richtig wäre, so dürften bei dem neuen Experiment die beiden Lichtstrahlen keinen Gangunterschied zeigen. Die Beobachtungen ergaben indessen einen Gangunterschied. Und zwar ist er gerade so groß, wie er sein müßte, wenn man annimmt, daß die Erde in einem ruhenden Äther sich um ihre Achse dreht. Oder mit anderen Worten, in östlicher Richtung, wo die Erde in der gleichen Richtung fortschreitet wie das Licht, ist die Lichtgeschwindigkeit relativ zur Erde gleich

$$c - r\omega$$

und in westlicher Richtung, wo sie ihm entgegenläuft, ist die Lichtgeschwindigkeit gleich

$$c + r\omega$$

(r = Radius des betr. Parallelkreises, ω = Drehungsgeschwindigkeit, c = Lichtgeschwindigkeit.)

Der Umstand, daß der beobachtete Effekt in ω von erster Ordnung ist, zeigt schon, daß er der Relativitätstheorie nicht widersprechen kann, bei deren Annahme ja gegen die Annahme des ruhenden Äthers immer nur ein Unterschied der zweiten Ordnung der in Frage kommenden Geschwindigkeit im Verhältnis zur Lichtgeschwindigkeit sich ergibt. Gleichwohl ist es aber doch gut darauf hinzuweisen, daß der neue Versuch insofern die Relativitätstheorie glänzend bestätigt, als jetzt denen der Boden entzogen ist, die den Versuch von MICHELSON und MORLEY durch die Mitnahme des Äthers erklären wollten. Während also bei der Annahme eines materiellen Äthers die beiden Versuche einander widersprechen, ist die Relativitätstheorie mit beiden im schönsten Einklang. Wenn man ein in der Erde festes Bezugssystem einführt, so ergeben sich in der einfachsten Weise die beiden verlangten Geschwindigkeiten. Ich will die kurze Rechnung hierher setzen.

In den Ausdruck für das Quadrat des Weltlinienelementes

$$ds^2 = -dX^2 - dY^2 - dZ^2 + dT^2$$

führen wir das Koordinatensystem x, y, z, t ein, dessen z-Achse in die Erdachse gelegt wird. Die Zeiteinheit wird so gewählt, daß die Lichtgeschwindigkeit gleich 1 ist. Wir haben dann zu setzen

$$\text{I.} \quad X + Yi = e^{\omega t i}(x + y\,i),\ Z = z,\ T = t$$

und somit

$$dX + dYi = e^{\omega t i}[dx + dy\,i + \omega i\,(x + yi)\,dt]$$

und

$$ds^2 = -dx^2 - dy^2 - dz^2 - 2\omega\,(x\,dy - y\,dx)\,dt + [1 - \omega^2(x^2 + y^2)]\,dt^2 .$$

(Die Gravitation der Erde ist als unerheblich vernachlässigt.)

Die Lichtgeschwindigkeit im Punkte $x = r$ $y = 0$ $z = z$, in der Richtung $dx = 0$, $dz = 0$, dy positiv oder negativ ist $= \frac{dy}{dt}$ und ergibt sich aus der Gleichung $ds^2 = 0$

$$-\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 - 2\,\omega\,r\left(\frac{dy}{dt}\right) + (1 - \omega^2 r^2) = 0$$

Somit ist

$$\frac{dy}{dt} = -\omega r \pm 1 .$$

Der positive Wert entspricht nach Gleichung I bei positivem ω und positivem r der Richtung des Drehungssinnes, der negative der entgegengesetzten Richtung.

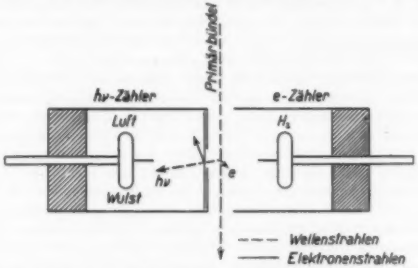
Göttingen, den 2. Mai 1925. C. RUNGE.

Experimentelles zur Theorie von Bohr, Kramers und Slater.

BOHR, KRAMERS und SLATER haben vor kurzem eine Erklärung des Comptoneffekts gegeben, die von grundlegender Bedeutung für unsere Auffassung von dem Wesen der Strahlung ist. Der bedeutsame Unterschied gegen die ältere Vorstellung liegt darin, daß bei dem elementaren Streuprozeß der Energie- und Impulssatz im allgemeinen nicht gelten, sondern sich erst für

eine große Anzahl von Streuprozessen im Mittel einstellen soll. Diese Vorstellung ergab sich bei BOHR als logische Konsequenz allgemeinerer Annahmen über die Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie, durch welche der Anschluß der Quantentheorie an die klassische Wellentheorie der Strahlung erreicht werden sollte.

Zwischen den beiden Auffassungen vom Comptoneffekt läßt sich experimentell entscheiden, indem man die in Wasserstoff entstehenden Streustrahlen und zugehörigen Rückstoßelektronen mit je einem Spitzenzähler („$h\nu$-Zähler, e-Zähler") registriert. Die von uns benutzte Versuchsanordnung ist in beistehender Figur



Nachweis von Koinzidenzen zwischen Rückstoßelektronen e und Streustrahlung $h\nu$.

schematisch dargestellt. In dem dicht vor dem $h\nu$-Zähler liegenden Wasserstoffvolumen wird ein sehr kleiner Bruchteil der Primärstrahlung zerstreut und im $h\nu$-Zähler registriert, soweit sich diese Streustrahlung in der den Zähler abschließenden Platinfolie in ionenerzeugende Elektronenstrahlung umsetzt. Die zugehörigen Rückstoßelektronen werden durch den e-Zähler aufgezeichnet. Bei idealen Versuchsbedingungen müßte nach COMPTON und DEBYE gleichzeitig mit jedem $h\nu$-Ausschlag ein e-Ausschlag auftreten; in Wirklichkeit war infolge der nicht vermeidbaren Unvollkommenheiten der Versuchsbedingungen nur auf etwa 10 $h\nu$-Ausschläge eine Koinzidenz zu erwarten, wie besondere Versuche zeigten. Andererseits waren nach der Bohrschen Vorstellung Koinzidenzen praktisch ausgeschlossen. Die Versuche ergaben je eine Koinzidenz auf etwa 11 $h\nu$-Ausschläge, nach Abzug der rein zufällig zu erwartenden Koinzidenzen, deren Häufigkeit sich leicht berechnen ließ aus der Größe des kritischen Zeitintervalles, innerhalb dessen zwei Ausschläge als koinzidierend angesehen wurden. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß sämtliche beobachtete Koinzidenzen durch rein zufälliges Zusammentreffen der Ausschläge vorgetäuscht sein könnten, ist bei ungünstigster Berechnungsweise noch nicht 10^{-8}. Unsere Versuche sprechen somit für die ältere Auffassung.

Wesentlich für das Gelingen der Versuche war die scharfe Erfassung der Koinzidenzen, da naturgemäß immer eine gewisse Zahl von mehr oder weniger scharfen zufälligen Koinzidenzen zu erwarten war. Erhebliche Schwierigkeiten entstanden daher, als sich herausstellte, daß die Spitzenzähler in der gewöhnlichen Form mit variablen Verzögerungen bis zu $^1/_{100}$ Sekunde arbeiteten. Der Grund hierfür lag darin, daß die den Stromstoß einleitenden Ionen je nach der Richtung des eintretenden Strahlenteilchens in mehr oder weniger großer Entfernung von der Spitze erzeugt wurden und daher eine merkliche Zeit verstrich, bis sie durch das relativ schwache Feld in wirksame Spitzennähe gelangten. Die Verzögerungen konnten dadurch praktisch behoben werden, daß dem Spitzenfeld durch einen hinter der Spitze angebrachten metallischen Wulst ein homogeneres Zusatzfeld überlagert wurde. Durch dieses Feld wurden die Ionen aus jedem Teil des Zählerraumes in kürzester Zeit an die Spitze herangeführt. Erst als auf diese Weise die Verzögerungen behoben waren, konnte das kritische Zeitintervall auf $^1/_{1000}$ Sekunde herabgedrückt werden. Die Messung so kleiner Zeitintervalle konnte mit einer Genauigkeit von $^1/_{10\,000}$ Sekunde ausgeführt werden.

Die ausführliche Veröffentlichung erfolgt demnächst in der Zeitschrift für Physik.

Berlin-Charlottenburg, den 18. April 1925.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

W. BOTHE. H. GEIGER.

Anregung von Spektrallinien durch chemische Reaktionen.

HABER und ZISCH haben sich in einer eingehenden Arbeit mit dem Leuchten chemischer Gasreaktionen beschäftigt, und zwar untersuchten sie besonders die Reaktionen von Natriumdampf und Quecksilberdampf mit Halogenen. Aus einem engen Rohr lassen sie einen mit dem Metalldampf beladenen Stickstoffstrom in das Halogengas eintreten. Durch genügende Verdünnung mit Stickstoff halten sie die Temperatur in der Reaktionszone so tief, daß noch keine sichtbare Temperaturstrahlung emittiert werden kann. Trotzdem beobachten sie an der Vereinigungsquelle der reagierenden Gase eine Lichterscheinung, beim Natrium die Emission der D-Linien auf schwachem anscheinend kontinuierlichem Hintergrund, beim Quecksilber ein Bandenspektrum, das sich etwa von 595—300 $\mu\mu$ erstreckt, dagegen nicht die Quecksilberresonanzlinie. HABER und ZISCH deuten diese Erscheinungen durch die Annahme, daß die bei den elementaren Reaktionsprozessen freiwerdende Energie, noch bevor sie auf die verschiedenen Freiheitsgrade der übrigen Atome verteilt wird, durch Zusammenstoß eines bestimmten Atomes mit dem energietragenden Gebilde zur Anregung des Atoms und so zur Aussendung der entsprechenden Spektrallinie verwendet werden kann.

Nun wird bei den Reaktionen des Natriums sicher eine Energie frei, die ausreicht, um die Natriumlinie anzuregen, solange sie nicht in kinetische Energie verwandelt worden ist. Bei Quecksilber hingegen ist, welche Prozesse auch immer zu der endgültigen Reaktion führen mögen, die Energie stets so gering, daß niemals die Anregung der Resonanzlinie des Quecksilbers zu erwarten ist. Dementsprechend trat bei den Natriumreaktionen die D-Linie auf. Bei der Reaktion zwischen Quecksilber und Chlor wurde dagegen die Linie 2537 nicht beobachtet. Es ließ sich also auf diese Weise eine vollkommene Erklärung für die experimentellen Befunde geben.

Wir konnten nun die von HABER und ZISCH entwickelten Anschauungen durch weitere Untersuchungen bestätigen. Wir sind dabei von dem Gedanken ausgegangen, daß, wenn die oben auseinandergesetzten Vorstellungen über die Anregung von Spektrallinien durch chemische Reaktionen zutreffen, nicht nur das eigene Atom angeregt werden kann, sondern auch fremde, an der Reaktion nicht beteiligte Atome angeregt werden müßten, sofern nur die bei den einzelnen Prozessen freiwerdende Energie zur Anregung einer Linie ausreicht. Die Untersuchung solcher Anregungen scheint uns um so wichtiger zu sein, als man ja aus dem Auftreten einer bestimmten Linie auf die Energie der anregenden Elementarprozesse und, wenn man die Energien aller möglichen Prozesse der Reaktion

noch aus anderen Daten kennt, auf die wirklich auftretenden Elementarprozesse schließen kann.

Welche Elementarprozesse bei der Reaktion von Natrium mit Chlor zur endgültigen Bildung des NaCl-Moleküls führen, ist zwar nicht bekannt, es treten aber sicher Prozesse auf, bei denen eine Energie frei wird, die gleich der Dissoziationsarbeit der Natriumchloridmolekel in die Atome ist. Es lassen sich sogar Prozesse angeben, bei denen eine noch höhere Energie frei wird, doch scheint zumindest die Wahrscheinlichkeit dafür, daß diese Energie von nur einem Primärteilchen aufgenommen wird, verschwindend klein zu sein. Die Dissoziationsenergie von NaCl, die man aus bekannten Daten wenigstens angenähert berechnen kann, beträgt etwa 109 000 Cal., welcher Wert eher zu tief als zu hoch erscheint, während für NaBr die Rechnung nur 101 000 Cal. ergibt. Man konnte also erwarten, daß durch die Natriumchlorreaktion die Quecksilberresonanzlinie sich anregen läßt[1]), während sie ja bei der Quecksilberreaktion selbst nicht emittiert wurde. Bei der Natrium-Bromreaktion sollte dagegen die Energie des entsprechenden Prozesses nicht mehr zur Anregung ausreichen.

Wir haben in einer ähnlichen Anordnung, wie sie Haber und Zisch benutzten, Natrium und Chlor miteinander zur Reaktion gebracht, indem wir dem mit Natrium beladenen Stickstoffstrom gleichzeitig Quecksilberdampf zusetzten. In der Tat zeigt eine Reihe von Spektralaufnahmen der nun auftretenden Leuchterscheinung stets neben der Natriumlinie die Resonanzlinie des Quecksilbers, und zwar ist die Intensität der Quecksilberlinie deutlich proportional der Intensität der D-Linie. Ließen wir unter sonst gleichen Bedingungen den Natriumdampf fort, so zeigte sich keine Spur der Quecksilberlinie. Es ist also deutlich, daß die Quecksilberlinie durch die Natrium-Chlorreaktion angeregt wurde. Bei der Reaktion zwischen Natrium und Brom haben wir unter den gleichen Bedingungen trotz sehr langer Belichtungszeiten niemals die Quecksilberlinie finden können. Dieses Ergebnis scheint also dafür zu sprechen, daß Prozesse, bei denen ein Primärteilchen mehr als seine Dissoziationsenergie aufnimmt, in größerer Zahl nicht vorkommen.

Es sei noch weiter darauf hingewiesen, daß bei den untersuchten Reaktionen auch die 3.—15. Linie des Natriums angeregt werden sollte. Daß diese Linie nicht auftritt, könnte so zu verstehen sein, daß, sobald bei Energieübertragungen, wie sie hier vorliegen, mehrere Anregungsmöglichkeiten vorhanden sind, diejenige mit der kleinsten Energie die weitaus wahrscheinlichste ist, obwohl auch noch andere Deutungen möglich sind.

Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie.
H. Fränz und H. Kallmann.

Über die antikatalytische Wirkung der Blausäure.

Die Tatsache, daß Blausäure die Atmung der lebenden Zelle hemmt, ist im vorigen Jahrhunderts von Claude Bernard entdeckt worden. Einen Versuch, die Erscheinung zu erklären, finden wir bei Claude Bernard nicht. Er begnügt sich mit der Beschreibung seiner Beobachtungen und bemerkt (Substances Toxiques, Paris 1883): „Mitscherlich, devant qui l'on parlait un jour des effets de l'acide prussique, regardait son action comme très-mystérieuse, et attachait à son explication une grande importance."

Nach Claude Bernard hat sich J. Geppert („Über das Wesen der Blausäurewirkung", Berlin 1889) mit der Wirkung der Blausäure auf die lebendige Substanz beschäftigt. Auch Geppert fand keine Erklärung, immerhin aber stehen am Schluß seiner Abhandlung die folgenden bemerkenswerten Sätze:

„Es liegt nahe, auf Grund dieser Befunde sich eine Hypothese zu bilden, wie wohl die merkwürdige Wirkung der Blausäure zustande kommt. Zunächst scheint es, daß die Blausäure im Körper ganz ähnlich wirkt, wie bei manchen chemischen Prozessen: Wir wissen, daß chemische Vorgänge aufgehalten werden einfach durch die Gegenwart minimaler Mengen von Blausäure. Am lehrreichsten ist, daß, wie Millon gefunden hat, Jodsäure bei Gegenwart von Blausäure ihren Sauerstoff unter sonst geeigneten Bedingungen nicht mehr . . . abgibt. Wenn wir nun sehen, daß . . . Wirkungen im Körper durch minimale Mengen Blausäure hervorgebracht werden, so liegt es sehr nahe, daran zu denken, daß, ähnlich wie im chemischen Experiment die Jodsäure, so im vergifteten Körper andere hoch oxydierte Substanzen ihren Sauerstoff nicht mehr wie sonst an oxydable Verbindungen abzugeben imstande sind. Hält man an dieser Vorstellung fest, so ergibt sich weiterhin, daß diese hochoxydierten Körper (die Analoga der Jodsäure) die Fähigkeit besitzen müssen, den Sauerstoff, der ihnen gelöst im Serum zugeführt wird, chemisch fest zu binden, ehe sie ihn an die verbrennungsfähigen Substanzen abgeben; sie spielen die Rolle von Sauerstoffüberträgern; haben gewissermaßen nur den Zweck, den Sauerstoff der Luft in die für die Zwecke des Stoffwechsels geeignete Form zu bringen."

Die Untersuchungen der letzten Jahre an diesem Institut haben gezeigt, daß der Geppertsche Sauerstoffüberträger nichts anderes ist, als Eisen, das in jeder lebenden Zelle in kleinen Mengen vorkommt, und das, indem sich die Blausäure mit ihm verbindet, ungeeignet wird zur Übertragung des Sauerstoffs. Die Wirkung der Blausäure ist eine Antikatalyse in bezug auf Schwermetall,und ist dieser Satz ohne Einschränkung wahr, so muß er auch imstande sein, die von Geppert angeführten Beobachtungen Millons zu erklären.

Mischt man wässerige Lösungen von $^1/_2$-molarer Jodsäure und $^1/_2$-molarer Oxalsäure zu gleichen Teilen, so wird die Oxalsäure durch die Jodsäure zu Kohlensäure oxydiert, ein Vorgang, dessen Geschwindigkeit wir bei Zimmertemperatur durch manometrische Bestimmung der entwickelten Kohlensäure gemessen haben. Fügt man $^1/_{1000}$ Mol Blausäure zu 1 l Lösung, so kommt die Reaktion sofort zum Stillstand. Da eine stöchiometrische Beziehung bestehen muß zwischen der Menge der wirksamen Blausäure und der Menge des Stoffes, auf den sie wirkt, so folgt, daß weder die Jodsäure noch die Oxalsäure — die gegenüber der Blausäure in 250fachem Überschuß in der Lösung zugegen sind — mit der Blausäure reagieren, sondern ein in kleiner Menge in der Lösung vorhandener Stoff.

Dieser Stoff ist, wie wir gefunden haben, Eisen, das alle Laboratoriumspräparate als Verunreinigung enthalten. Reinigt man das Wasser, die Jodsäure und die Oxalsäure, so wird mit zunehmendem Reinheitsgrad die Reaktionsgeschwindigkeit kleiner und kleiner. Setzt man zu den gereinigten Lösungen minimale Eisenmengen, die mit den gebräuchlichen Reagenzien der analytischen Chemie nicht mehr nachweisbar sind, so steigt die Reaktionsgeschwindigkeit auf den Wert der ungereinigten Lösungen oder darüber hinaus, je nach der Menge des zugesetzten Eisens. Blausäure bringt die Wirkung des zugesetzten Eisens vollkommen zum Verschwinden. Es ist also die von Millon beschriebene

[1]) Vielleicht geschieht eine solche Anregung auch über den metastabilen $2p_3$-Zustand des Quecksilbers, zu dessen Anregung nur 107 000 Cal. nötig sind.

Reaktion zwischen Jodsäure und Oxalsäure eine Eisenkatalyse, und die Wirkung der Blausäure auch in diesem Falle — in Übereinstimmung mit dem oben ausgesprochenen Satz — eine Antikatalyse in bezug auf Schwermetall.

Die Wirkung der Blausäure auf die Atmung der lebenden Zelle ist reversibel, das heißt, die Blausäure kann durch Waschen der Zellen mit blausäurefreien Lösungen leicht entfernt werden, die Geschwindigkeit der Atmung steigt dann wieder auf ihren Normalwert. Dies beweist, daß die Blausäure mit dem Eisen der Zelle *lockere* Verbindungen eingeht, wohl zu unterscheiden von den festen Verbindungen, wie sie in den Eisencyanwasserstoffsäuren vorliegen.

Auch das Eisen in dem System Jodsäure-Oxalsäure-Eisen bindet die Blausäure nicht zu Eisencyanwasserstoffsäure, sondern nur sehr locker. Durchleiten von blausäurefreier Luft durch eine blausäurehaltige Jodsäure-Oxalsäure-Lösung genügt, um die Eisen-Blausäureverbindung zu lösen und damit die vorher gehemmte Reaktion wieder in Gang zu bringen.

So lassen sich fundamentale Eigenschaften der lebendigen Substanz an diesem einfachen Modell erklären.

Berlin-Dahlem,
Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie,
den 13. April 1925.

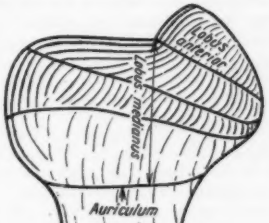
Otto Warburg. Shigeru Toda.

Biologische Mitteilungen.

Variations in the shell of Teredo navalis in San Francisco Bay. (R. C. Miller, University of California Publications in Zoology. **22**. 1922.) Die Schalen des Schiffsbohrwurms Teredo navalis zeigen in Ausmaßen und Gestalt eine große Variabilität. An verschiedenen Punkten der San Francisco Bai fand der Verfasser so verschiedene Formen, daß er zunächst glaubte, verschiedene Arten vor sich zu haben. Es zeigte sich jedoch, daß die extremsten Formen durch eine große Reihe von kaum merkbaren Übergängen verbunden, also Repräsentanten einer Art, waren. Die vorliegende Untersuchung soll den Variationsumfang unter den in der San Francisco Bai vorkommenden Bedingungen feststellen und ihn soweit wie möglich mit bekannten Umweltsfaktoren in Zusammenhang bringen. Die scharfen Linien auf der Außenseite der Schale sind ausgesprochene Zuwachsstreifen. Ihre Anlage muß eine Funktion zweier Variabeln sein: eines mit einer gewissen Periodizität verknüpften physiologischen Faktors, der zu der Anlage der Streifen führt und einer direkten Abhängigkeit von den Bedingungen der Ernährung, des Salzgehalts und der Temperatur. Die Streifen sind also nicht allein ein Ausdruck des Alters der Tiere, sondern auch der jeweiligen Bedingungen, unter denen es lebt. Um über die Veränderungen während des Wachstums der Tiere hinsichtlich des verschiedenen Alters Aufschluß zu erhalten, wurden zu der Zeit, in der die freischwimmenden Jugendformen sich festsetzen, Probebalken in das Meer gebracht und in bestimmten Abständen die daran sitzenden Bohrmuscheln untersucht. Es ergab sich, daß unter den (hinsichtlich des Salzgehaltes und der Temperatur) normalen Bedingungen der San Francisco Bai die Schale von Teredo mit wenigen Ausnahmen während des ersten Monats der Bohrtätigkeit auf 8 oder 9 Streifen anwächst und von da an um 2—4 Streifen monatlich zunimmt. Die größte gefundene Schale hatte 81 Streifen und war mindestens 2 Jahre alt.

Hinsichtlich des Salzgehalts, der Tiefe, der Temperatur und auch der Art des Strandes zerfällt die San Francisco Bai in drei große Teile: die obere, mittlere und untere Bai. Die obere Bai, die die San Pablo und Suisun Bai mit den sie verbindenden Straßen umfaßt, ist die Brackwasserregion, sie hat ständig wechselnden Salzgehalt, die größten Temperaturschwankungen im Jahresverlauf, und besonders ihr oberes Ende hat durch die Einmündung des Sacramento und San Joaquin starke Süßwasserzufuhr. Das Zusammenwirken dieser Zuflüsse und des Gezeitenwechsels ruft einen beinahe stündlichen Wechsel des Salzgehaltes hervor, der ferner durch die schwankende Stärke der einmündenden Ströme, die in den ersten 6 Monaten des Jahres meist mehr als 5mal soviel Wasser führen wie in den letzten 6 Monaten, und an verschiedenen Stellen des verbindenden Kanals (Carquinez Straits) infolge wechselnder Breite und Tiefe beeinflußt wird. In Carquinez Straits schwankt der Salzgehalt von $0-27\,^0/_{00}$. Die mittlere Bai, die südwärts bis Goat Island Light reicht, zeigt gerade die entgegengesetzten Verhältnisse. Ihre größere Tiefe und die Nachbarschaft der offenen See bedingen einen hohen und nahezu konstanten Salzgehalt und eine sehr geringe Temperaturschwankung; der mittlere jährliche Salzgehalt beträgt $30-31\,^0/_{00}$. Nach Süden folgt dann die untere Bai, deren Verhältnisse zwischen denen der beiden anderen liegen; der mittlere Salzgehalt beträgt $28{,}4-29{,}1\,^0/_{00}$ und schwankt während des Jahres von $24{,}8-31{,}4\,^0/_{00}$, auch die Temperaturschwankungen sind größer als in der mittleren Bai. Bei der Untersuchung der Teredoschalen wurde die Tiefe und der Sauerstoffgehalt des Wassers nicht berücksichtigt. Um die Variation der Streifung festzustellen, wurde die Anzahl von Streifen pro Millimeter gezählt und dann bei den Schalen von verschiedenen Orten die Anzahl von Streifen auf der Flächeneinheit verglichen. Die Untersuchung ergab eine Korrelation zwischen der Zahl der Streifen und den Umweltsbedingungen, und zwar zeigten die Schalen aus der mittleren Bai (höchster Salzgehalt!) die größte Streifenzahl, die aus der oberen Bai die geringste, während die aus der unteren Bai zwischen den beiden anderen stehen. Die Unterschiede werden wahrscheinlich sowohl durch die absoluten Differenzen der Temperatur und des Salzgehaltes an den verschiedenen Orten wie auch durch ihren Schwankungsgrad bedingt.

Die Untersuchung des Auriculums zeigt, daß das Auriculum bei den Schalen aus der oberen Bai stärker vorgewölbt ist als bei jenen aus der mittleren und unteren Bai. Um diese Variabilität graphisch darstellen zu können, wurde als Größenindex der Quotient von mittlerer Breite des Auriculums durch die mittlere Breite des Lobus medianus gebildet (vgl. Fig.), wobei die letztere Größe als konstant angenommen wurde. Es ergab sich, daß in der oberen Bai die Schalen stets ein breiteres Auriculum hatten als in der mittleren Bai. Die Schalen der unteren Bai standen auch hinsichtlich dieses Merkmals zwischen den beiden



anderen. In genau der gleichen Weise zeigten andere Merkmale — die Größe der Zähnchen am Schalenrand, die Dicke des Periostracums und der Grad der Färbung — eine konstante Abhängigkeit von den Umweltsfaktoren, speziell von Salzgehalt und Temperatur. Ein Schluß von der Schale direkt auf den Fundort ist natürlich nur bei den extremsten Formen möglich, da sich die Variationskurven zum großen Teil überdecken. M. konnte feststellen, daß die Schalen verschiedener Jahrgänge an den gleichen Fundorten sich u. U. stark unterscheiden, so hatten die Schalen von Carquinez Straits im Jahre 1920 durchschnittlich 15,8 Streifen pro Millimeter (gegenüber 14,5 im Jahre 1921), was damit übereinstimmt, daß im Winter 1919/20 sehr wenig Regen fiel und infolgedessen der Süßwasserzustrom sehr gering war. Entsprechend dem dadurch hervorgerufenen höheren Salzgehalt näherte sich das Aussehen der Schalen jenem der Schalen aus der mittleren Bai. Daraus geht hervor, daß die Variabilität nicht vererbt wird, sondern unmittelbar unter dem Einfluß der Umweltsbedingungen entsteht.

In einer weiteren Arbeit **Variations in the pallets of Teredo navalis in San Francisco Bay** (University of California Publications in Zoology **22**. 1923) untersucht der gleiche Verf. die Variation der Paletten genannten kalkigen Skelettstücke, die in der Verwachsungsstelle der beiden Siphonen liegen und die oft zu systematischen Zwecken herangezogen werden. MILLER weist nach, daß die Tiere der oberen Bai an den Paletten, genau wie an der Schale, ein stärkeres Periostacum haben als jene aus der mittleren und unteren Bai, und daß die chitinösen Spitzen der Paletten bei Tieren aus der oberen Bai gewöhnlich dunkler sind als bei solchen von anderen Fundstellen. Bei den Paletten wird aber die Variation durch weitere Faktoren sehr kompliziert. Häufig sind die beiden Paletten eines Tieres sehr verschieden gestaltet, irgendwelche inneren physiologischen Bedingungen müssen diese Asymmetrie verursachen. Ferner hängt die Gestalt der Paletten sehr weitgehend von der Bohrtätigkeit ab, durch die die Paletten stark abgenutzt und deformiert werden und an die sie sich irgendwie anpassen müssen. An einer und derselben Fundstelle fand MILLER die verschiedensten Palettenformen und warnt deshalb davor, sie als Artcharakteristika zu verwerten.

WALTER LANDAUER.

Über den Einfluß verschieden hoher Temperatur auf die Bildung der Linse von Rana fusca, Rana esculenta und Bombinator pachypus. (L. v. UBISCH, Zeitschr. f. wiss. Zool. **123**, H. 1. 1923.) In der Embryonalentwicklung der Wirbeltiere wächst die Seitenwand des Vorderhirns als primäre Augenblase gegen die äußere Haut vor, stülpt sich dann im vorderen Teil ein und bildet so den Augenbecher, während der übrige Teil als Augenstiel die Verbindung mit dem Gehirn aufrecht erhält. Während dieses Vorganges schnürt sich an der Stelle der Haut, gegen die sich die Augenblase vorwölbt, ein kleines Säckchen nach innen ab, das die Linse liefert. Im Anschluß an diese Feststellungen erhob sich die Frage, ob diese Linsenbildung durch die vorwachsende Augenblase ausgelöst wird, oder ob die Linse unabhängig von der Augenblase entstünde. Zahlreiche in den letzten 25 Jahren angestellte Versuche deuteten teils auf eine abhängige, teils auf eine unabhängige Differenzierung hin und bald wurde nicht mehr die Alternativfrage: abhängige *oder* unabhängige Differenzierung aufgeworfen, sondern die Frage, ob *neben* abhängiger Differenzierung auch eine unabhängige stattfinden *kann*. Die zahlreichen, insbesondere von SPEMANN angestellten Versuche hatten ergeben: 1. Bei Rana esculenta (Wasserfrosch) bildet sich die Linse unabhängig vom Augenbecher an einer bestimmten Stelle der Haut. 2. Bei Bombinator (Unke) kann die ganze Kopfhaut in verschieden starkem Maße unter dem Einfluß des Augenbechers Linsen bilden, bei Fehlen des Augenbechers wird die Linsenbildung höchstens eingeleitet, benötigt aber zur vollen Ausdifferenzierung die Anwesenheit des Augenbechers. 3. Bei Rana fusca (Grasfrosch) ist die Linsenbildung vom Augenbecher abhängig und das gleiche wurde 4. bei Hyla arborea (Laubfrosch) festgestellt, bei dem die Bildung einer Linse auch aus über dem Augenbecher transplantierter Haut anderer Körperstellen stattfand. Da jedoch bei den Formen mit unabhängiger Linsenbildung die Linsen oft anormal geformt sind und da bei anormaler Augenbecherform auch die Linse sich der Form des Bechers gemäß entwickelt, so ergibt sich, daß in der *normalen* Entwicklung der Linse der Augenbecher ein wesentlicher Faktor ist. Im Hinblick darauf ist also die Frage schon zu gunsten der abhängigen Differenzierung entschieden und v. UBISCH formuliert nunmehr das Problem der vorliegenden Arbeit so: 1. Ist die Fähigkeit, unabhängige Linsen zu bilden, bei verschiedenen Amphibien verschieden ausgebildet oder können auch Formen, die bisher keine freien Linsen lieferten, solche unter besonderen Umständen bilden? 2. Ist hierbei die Temperatur ein wichtiger Faktor? [Letzterer Gedanke wurde durch die Beobachtung angeregt, daß die in der kälteren Jahreszeit laichenden, also sich langsamer entwickelnden Tiere (Rana f. — März, Hyla arb. — Mai) eine abhängige Differenzierung aufwiesen, während die in wärmeren Monaten laichenden Arten (Bomb. pachyp. und Rana esc. — Mai bis Juli) eine mehr oder weniger unabhängige Differenzierung zeigten]. 3. Kommen noch andere und welche Faktoren in Frage? Untersuchungsmaterial waren die 3 im Titel erwähnten Arten, denen der vordere rechte Teil der Medullarplatte, also der Mutterboden der rechten Augenblase entfernt wurde und die dann bei verschiedenen Temperaturen (als Wärme- und Kälteserien) beobachtet wurden. Hierbei zeigte sich, daß die freie Linsenbildung deutlich von der Temperatur abhängig war. Denn das Kältetier R. fusca lieferte bei einer hohen Temperatur keine unabhängige Linse, bei der das fakultative Wärmetier Bomb. pach. eine Linse lieferte, während letzteres wiederum bei noch höherer Temperatur keine freie Linse hervorbrachte. Umgekehrt unterblieb die Linsenbildung des Wärmetieres R. esc. bei einer niedrigen Temperatur, bei der R. fusca eine freie Linse bildete. Somit wäre das Fehlen der freien Linsenbildung als eine Folge von anormaler, extremer Temperatur zu betrachten (Hemmungswirkung) und die Fähigkeit freier Linsenbildung, d. h. Bildung sog. Lentoide (unvollständiger Linsen), käme *allen* Formen zu. Die früher gefundenen Unterschiede zwischen den verschiedenen Formen erweisen sich danach als keine prinzipiellen, sondern nur als durch Hemmungseinflüsse anormaler Temperaturen bewirkte. Die Linsenbildung ist also nach v. UBISCH vom Augenbecher abhängig, kann aber auch durch einen zweiten vermutlich in der Haut lokalisierten mehr oder minder starken Faktor, der unbekannt ist, hervorgerufen werden. Dieser Faktor ist in den Fällen freier Linsenbildung der allein wirksame. Außer durch die Temperatur kann die freie Linsenbildung auch durch schädigende Einflüsse der Operation gehemmt werden. K. BALDUS.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.